

Antti Lipsanen

PUIJONSARVEN KOULUN LVI-  
TIETOMALLINNUS JA  
ILMAMÄÄRÄSÄÄDÖN VAIKUTUS  
ILMASTOINTIJÄRJESTELMÄN  
ELINKAARIKUSTANNUKSIIN

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Huhtikuu 2010




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b> 23.4.2010	
<b>Tekijä(t)</b> Antti Lipsanen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Talotekniikka</b> LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto	
<b>Nimeke</b> Puijonsarven koulun LVI-tietomallinnus ja ilmamääräsäädön vaikutus ilmastointijärjestelmän elinkaari-kustannuksiin			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Työn tarkoituksena oli tutkia tarpeenmukaisen ilmanvaihdon vaikutusta huoneolosuhteisiin ja energiankulutukseen järjestelmän elinkaaren aikana. Työssä on suunniteltu Puijonsarven koulun eteläsiipeen vakioilmavirtainen ilmastointijärjestelmä sekä kolme eri ilmamääräsäätöistä järjestelmää, joita ohjataan lämpötila-anturein. Tulokset huoneolosuhteista ja energiankulutuksesta on saatu tietokoneavusteisella simuloinnilla. Järjestelmien energiankulutuksen eroja verrattiin vakioilmavirtaiseen ilmastointijärjestelmään ja laskettiin eri järjestelmien kannattavuutta. Työssä on otettu huomioon järjestelmien urakointi- ja huoltokustannusten erot, sekä kaukolämmön ja sähkön hintojen kehitys järjestelmien elinkaaren aikana. Säästövaikutuksen lisäksi on arvioitu järjestelmien käytön aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä.</p> <p>Työssä suunniteltiin tarkasteltavat ilmastointijärjestelmät, laadittiin kohteesta tietomalli (BIM), ja simuloimalla tätä mallia saatiin tietoa huoneolosuhteiden tavoitteiden täyttymisestä sekä rakennusosan energiankulutuksesta. Suunnittelutavoitteena oli Sisäilmastoluokituksen 2008 mukainen S2-sisäilmaluokka.</p> <p>Vertailtavat järjestelmät olivat:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-vakioilmavirrat kaikissa tiloissa,</li> <li>-ilmamääräsäätö (IMS) luokkatiloissa sekä käytävillä, muissa tiloissa vakioilmavirrat,</li> <li>-ilmamääräsäätö luokkatiloissa, muissa tiloissa vakioilmavirrat ja</li> <li>-ilmamääräsäätö käytävillä, muissa tiloissa vakioilmavirrat.</li> </ul> <p>Valitsemalla ilmamääräsäätö luokka- sekä käytävätiloihin, säästetään parhaimmillaan 48 % ilmastoinnin energiakustannuksista, ja lisääntyneet urakointi- ja huoltokustannukset korvautuvat yli kolminkertaisesti. Näiden säästöjen lisäksi vapautuu noin yhdeksän sataa tonnia vähemmän hiilidioksidia.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> ilmanvaihto, simulointi, energiankulutus, elinkaarikustannukset			
<b>Sivumäärä</b> 39+liitteet	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Heikki Salomaa		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  23.4.2010	
<b>Author(s)</b> Antti Lipsanen		<b>Degree programme and option</b> Building Services Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Puijonsarvi school's HVAC BIM and air flow control's effect on ventilation system's life cycle costs			
<b>Abstract</b>  Purpose of this bachelor's thesis is to examine the effect of variable air volume ventilation to room climate conditions and energy consumption during the ventilation system's life cycle. The systems were designed to Puijonsarvi school's south wing. Systems were the CAV ventilation system, as well as three different VAV ventilation systems. VAV systems were controlled by temperature sensors. Results for room climate conditions and energy consumption have been acquired by computer assisted simulation. Differences in energy consumption between CAV system and VAV systems were compared, and by these results, profitability was examined. Study includes differences in contractors' prices, maintenance costs and remote heat and electricity price developments during the systems' life cycle. Carbon dioxide emissions were also compared.  Study included designing of the ventilation systems, building information modeling (BIM), and by simulating this model provided information on room climate conditions and the fulfillment of the set objectives. The aim was to match S2 class of the Sisäilmasto 2008 indoor climate classification. Simulation also provided the information about energy consumption.  Compared systems were: -constant air volume (CAV) in all areas, -demand controlled ventilation (VAV) in classrooms and corridors, constant air volume in other rooms, -demand controlled ventilation in classrooms, other rooms in constant air volume and -demand controlled ventilation in corridors, other rooms in constant air volume.  Selecting demand controlled ventilation to classrooms and corridors, it saves 48 % in ventilation system's energy costs. Savings in energy cover the differences in increased contracting and maintenance costs over 3 times. In addition to these savings, about 900 tons less carbon dioxide is released to the atmosphere.			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  ventilation, simulation, energy consumption, life cycle costs			
<b>Pages</b> 39+appendices		<b>Language</b> Finnish	
<b>URN</b>			
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b> Heikki Salomaa		<b>Bachelor's thesis assigned by</b> Granlund Kuopio Oy	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	2
2	KOHTEEN ESITTELY .....	4
3	MENETELMÄT .....	5
3.1	Järjestelmien suunnittelu .....	5
3.1.1	Tavoitteet .....	5
3.1.2	Toteutus.....	7
3.2	Tietomallinnus .....	9
3.2.1	Tietomallinnuksen hyödyt.....	10
3.2.2	Toteutus.....	11
3.3	Simulointi .....	12
3.3.1	Lähtötiedot .....	13
4	TULOKSET .....	18
4.1	Simulointi .....	18
4.1.1	Olosuhdesimulointi .....	18
4.1.2	Energiasimulointi .....	22
4.2	Elinkaarikustannukset .....	27
4.2.1	Urakointi .....	27
4.2.2	Huolto .....	28
4.2.3	Energiakustannukset .....	29
4.3	Hiilidioksidipäästöt.....	33
5	TULOSTEN TARKASTELU .....	35
5.1	Simulointi .....	35
5.2	Elinkaarikustannukset.....	36
5.3	Hiilidioksidipäästöt.....	36
6	POHDINTA .....	37
7	LÄHTEET .....	38
8	KIRJALLISUUS .....	39
9	LIITTEET.....	40

## LIITTEET

**LIITE 1** Piirustukset

**LIITE 2** Tilaluettelo

**LIITE 3** Olosuhdesimulointi

**LIITE 4** Energiasimulointi

**LIITE 5** Energiakustannuslaskelmat

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

<b>A</b>	on pinta-ala, m <sup>2</sup>
<b>V</b>	on tilavuus, m <sup>3</sup>
<b>L<sub>tilat</sub></b>	on tilojen lämmityksen kuluttama energia, MWh
<b>L<sub>IV</sub></b>	on ilmastoinnin lämmitykseen kulunut energia, MWh
<b>Σ L</b>	on lämmitysenergioiden summa, MWh, MWh/a
<b>q<sub>v</sub></b>	on tilavuusvirta, dm <sup>3</sup> /s; m <sup>3</sup> /s
<b>Δp</b>	on puhaltimen paineenkorotus, Pa
<b>E<sub>puh</sub></b>	on puhaltimen kuluttama sähköenergia, MWh
<b>η<sub>energia</sub></b>	on lämmöntalteenoton energiahyötysuhde
<b>L<sub>lto</sub></b>	on lämmöntalteenoton avulla talteen saatu energia, MWh
<b>c<sub>i</sub></b>	on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1,0 kJ/K*kg
<b>t<sub>ulko</sub></b>	on ulkoilman lämpötila, °C
<b>t<sub>lto</sub></b>	on LTO:n jälkeinen lämpötila, °C
<b>n</b>	on tarkasteltava tunti
<b>T</b>	on aika, h
<b>a</b>	on vuosi
<b>ek</b>	on elinkaari, 25 vuotta

## 1 JOHDANTO

LVI-suunnittelu on kehittynyt tietotekniikan kehityksen mukana. Tietotekniikan käyttö on lähes korvannut perinteisen suunnittelun ja yhä monipuolisempia sovelluksia tulee suunnittelijoiden ulottuville. Rakennuskohteiden kasvu ja monimutkaistuminen on luonut tarpeen yhä käytännöllisemmille työkaluille. Useiden organisaatioiden toimissa yhteisen päämäärän eteen on tiedonvälitys avainasemassa. Sähköpostit, puhelut ja neuvottelut ovat korvaamattomia, mutta niiden havainnollisuus on rajallinen, kun mennään teknisiin yksityiskohtiin. Tietomallinnuksen avulla voidaan paljon tietoa siirtää vaivattomasti, helposti tulkittavassa muodossa.

Tietomallinnus on tapa hallita tietoa. Tietomalli sisältää rakennuskohteen rakenteen ja sen tuottamiseen sekä käyttämiseen tarvittavan tiedon. Termi tietomalli vastaa englanninkielistä termiä building information model (BIM). Tietomalli ei ole pelkästään kolmiulotteinen kuva, vaan sen osiin voidaan syöttää niitä koskevat tiedot. Tietomallinnuksessa kohteesta laaditaan digitaaliseen muotoon rakennuksen malli, joka sijoittuu virtuaaliseen koordinaatistoon. Tähän koordinaatistoon voidaan sijoittaa rakennuksen osat, esimerkiksi kantavat rakenteet, valaisimet ja ilmastointijärjestelmät.

Työssä tutkitaan ilmastointijärjestelmän valinnan vaikutusta elinkaarikustannuksiin. Suunnitellaan vertailtavat järjestelmät ja käytetään suunnittelun tietoja simuloitaessa vuosittainen energiankulutus. Energiankulutuksen, huollontarpeen, hankinta-, ja asennuskustannusten perusteella voidaan verrata näiden järjestelmien elinkaaren aikaista taloudellisuutta. Tämän lisäksi simuloinnin avulla tutkitaan myös huoneolosuhteita ja suunnittelutavoitteiden täyttymistä. Työssä arvioidaan myös energiankulutuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy, jonka tiloissa työ myös suoritettiin.

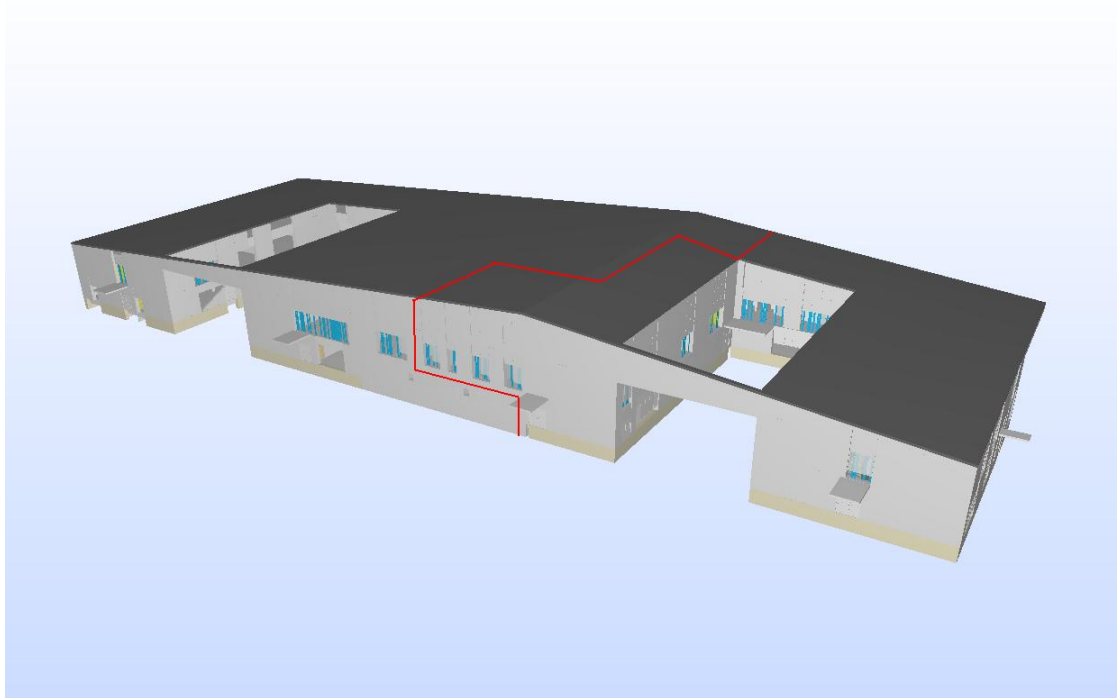
Vertailtavat järjestelmät ovat:

- vakioilmavirrat kaikissa tiloissa,
- ilmamääräsäätö (IMS) luokkatiloissa sekä käytävillä, muissa tiloissa vakioilmavirrat,
- ilmamääräsäätö luokkatiloissa, muissa tiloissa vakioilmavirrat,
- ilmamääräsäätö käytävätiloissa, muissa tiloissa vakioilmavirrat.

Ilmamääriä ohjataan poistoilman lämpötilan mukaan. Hiilidioksidiohjausta ei tässä työssä simuloida, käytettävien ohjelmistojen rajoitusten vuoksi. Suunniteltaviin järjestelmiin ei tule koneellista jäähdytystä, eikä niissä käytetä palautusilmaa. Kohteessa on yhteensä 8 ilmastointikonetta pois lukien huippuimurit ja teknisten tilojen koneet. Nämä koneet toimivat eri aikoina eri tarkoituksiin, mutta työn laajuuden vuoksi on työn kohteeksi rajattu rakennuksen eteläosa, kahden ilmastointikoneen palvelualueet.

## 2 KOHTEEN ESITTELY

Työn kohteena toimiva Puijonsarven koulu on Kuopion Päivärantaan rakennettava koulurakennus, jossa on perusopetuksen lisäksi tilat esiopetukseen, sitä täydentävään päivähoitoon, iltapäiväkerhoon ja oppilashuoltoon. Puijonsarven koulu kuuluu Kuopion kaupungin elinkaarihankkeeseen, jossa toteutetaan yhteensä viisi eri koulurakennusta. Puijonsarven koulun bruttopinta-ala on noin 7700m<sup>2</sup>. Elinkaarihankkeen toteuttaja on Lemminkäinen PPP Oy ja koulun tiloja käyttää Kuopion kaupunki.



**KUVA 1. Arkkitehdin tekemä IFC-malli koko rakennuksesta (työn kohteena oleva eteläsiipi rajattu punaisella)**

Kuvassa 1 on nähtävillä arkkitehdin tekemä malli koko rakennuksesta. Työn kohteena oleva eteläsiipi (oikealla) on rajattu punaisella. Kuvan kuvakulma on lounaasta ja visuaaliseen mallintamiseen on käytetty Solibri Model Checker -ohjelmaa.



### **3 MENETELMÄT**

Työssä laaditaan suunnitelmat vertailtavista järjestelmistä, laaditaan kohteesta tietomalli, ja tietomallin avulla simuloidaan energiankulutusta ja olosuhteita. Suunnitteluun sekä mallintamiseen käytetään tietokoneavusteista suunnittelua (CAD) ja simuloitiin energia- ja olosuhdesimulointiin tarkoitettua Olof Granlund Oy:n Riuska-sovellusta. Käytettyjen menetelmien avulla saadaan tietoa kohteen olosuhteista ja energiankulutuksesta.

#### **3.1 Järjestelmien suunnittelu**

Ilmastointijärjestelmien suunnitteluun tässä työssä käytetään AutoCad-ohjelmassa toimivaa suomalaista MagiCad-ohjelmistoa, joka on tarkoitettu talotekniseen suunnitteluun. Suunnitelmat piirretään kolmiulotteisesti, jolloin pystytään ehkäisemään kanavien tila- ja risteilyongelmia sekä tekemään risteystarkasteluja muiden taloteknisten järjestelmien kanssa. Kolmiulotteinen suunnittelu mahdollistaa myös suunnitelmien siirtämisen geometriseen malliin. Suunnitelmat on esitetty liitteessä 1.

##### **3.1.1 Tavoitteet**

Ilmastointijärjestelmien suunnittelu lähtee rakentamismääräysten täyttymisestä, ja tavoitteena on luokan S2 sisäilmasto. Tässä kohteessa ilmavirtojen mitoittamisen perusteena käytetään ensisijaisesti huoneiden henkilökuormia ja pinta-aloja tiloissa, joiden henkilökuormia ei tiedetä. Opetus- sekä ryhmätyötilojen osalta ilmavirtoja ohjataan sisälämpötilan mukaan.

Kanavien mitoituksessa ilman maksiminopeutena runkokanavissa on käytetty 6 m/s ja muissa 3 m/s ettei virtausääntä syntyisi. Kanavaosien tiiviysluokka on C, jolla asennustavasta riippuen tulisi saavuttaa koko kanaviston tiiviysluokka B, ja puhtausluokka P2.

Ilmanjakotavaksi on valittu sekoittava ilmanvaihto, jotta tiloihin saadaan tasaiset lämpöolot ja voidaan käyttää suurempia ilman nopeuksia päätelaitteissa. Päätelaitteet on mitoitettu ilmavirran, paineenalennuksen sekä äänenkehityksen perusteella. Päätelait-

teiden suurin paineenalennus on n. 50 Pa ja säätöpeltien n. 80 Pa. Äänitasojen saavuttamiseksi on käytetty äänenvaimentimia ja tasauslaatikoita. Äänenvaimentimia on sijoitettu myös säätölaitteiden jälkeen, sillä säätölaitteet ovat usein lähellä päätelaitteita.

Järjestelmien tulee olla energiatehokkaita. Energiatehokkuuteen vaikuttaa lämmitys-, jäähdytys- ja suodatinratkaisut sekä puhaltimen hyötysuhde. Ilmastointijärjestelmät varustetaan lämmöntalteenottolaitteistolla. Koulurakennuksessa ilman epäpuhtauksien ollessa pieniä, voidaan ilmanvaihtokoneet varustaa pyörivällä regeneratiivisella lämmöntalteenottolaitteella. Koneellista jäähdytystä ei ilmastointijärjestelmissä ole, ja suodatinluokkana käytetään EU 7:ä. Tuloilman lämpötilan asetusarvo on 19°C.

Tärkeimpänä tavoitteena voidaan mainita hyvä sisäilmasto. Tavoitteena voidaan pitää S2 sisäilmaluokkaa koulun käyttöajalla. Kesäkuukausina tämä ei luultavasti täyty, koska esimerkiksi luokkatiloissa ei ole koneellista jäähdytystä.

Sisäilmastoluokituksen S2 luokan mukaan suurin sallittu operatiivinen lämpötila on 27°C ulkolämpötilan ollessa yli 20°C. Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo on 20°C. Olosuhteiden pysyvyys opetustiloissa tulisi olla 90 % käyttöajasta. [1, s.13]

**TAULUKKO 1. Tilatyypikohtaiset sisäilmaston tavoitearvot**

Tilatyyppe	Sisälämpötila (°C)		Ilman nopeus (m/s)		Ulkoilma- virta (dm <sup>3</sup> /s)/m <sup>2</sup>	Ääni- taso dB(A)
	Kesä	Talvi	Kesä	Talvi		
Opetustilat	27,0	21,0	0,30	0,20	3,0	33
Ryhmätyötilat	27,0	21,0	0,30	0,20	4,0	33
Rehtori	27,0	21,0	0,25	0,20	2,0	33
Kanslia	27,0	21,0	0,25	0,20	2,0	33
Opet. kokous	27,0	21,0	0,25	0,20	5,0	33
Taukotila	27,0	21,0	0,25	0,20	5,0	33
Käytävät/aulat	27,0	21,0	0,3	0,2	4,0	38
WC	xx	21,0	xx	xx	20 l/s / wc	38
Pesuhuone	xx	22,0	0,2	0,2	5,0	38
Pukuhuone	xx	22,0	0,2	0,2	4,0	38
Porrashuone	xx	21,0	xx	xx	0,5 x h <sup>-1</sup>	38
Varasto	xx	21,0	xx	xx	0,5	38
Siivoushuone	xx	21,0	xx	xx	4,0	40

xx = ei aktiivista kyseisen kriteerin hallintaa

Taulukossa 1 on eri tilatyypeille asetetut sisäilmaston tavoitearvot, kuten ilman lämpötilat ja nopeudet, ulkoilmavirta ja äänitaso. Tavoitteet vastaavat S2- sisäilmastoluokistusta. Tilaluettelo kaikista tiloista on liitteessä 2.

### 3.1.2 Toteutus

Ilmamääräsäätö suunniteltiin sekä luokka- että käytävätiloihin. Tämä tarkoittaa sitä, että huoneen haaraan sijoitettiin normaalin säätöpellin tilalle automaation avulla ohjattu ilmamääräsäädin tulo- ja poistokanavaan. Poistoilmakanaviin sijoitetut lämpöanturit tarkkailevat huoneilman lämpötilaa, ja välittävät tiedon automaatiojärjestelmälle, joka ohjaa ilmamääräsäätimien asentoa lämpötilan mukaan. Ilmamääräsäätimien paineanturit ohjaavat ilmastointikoneiden puhaltimien pyörimisnopeutta pitäen paineen kanavistossa vakiona, jotta muut ilmapirtasäätimet toimivat oikein. Tämän lisäksi luokkatiloissa on liiketunnistimet, jotka tarkkailevat, onko tilassa ketään. Jos on, automaatio ohjaa ilmamäärän 50 %:iin maksimi-ilmapirrasta, ja tämän jälkeen automaatio ohjaa

lisää ilmavirtaa, jos se on lämpötilan nousun perusteella tarpeellista. Liiketunnistimien avulla saadaan nopeutettua ilmavirran säädön aloitusta, joka parantaa näin olosuhteiden pysyvyyttä. Tuloilmakoneiden maksimi-ilmavirta on mitoitettu täydelle kuormitukselle, jolloin kaikki tilat voivat olla yhtäaikaaisesti käytössä.

Muuttuvailmavirtaisissa järjestelmissä ilmanvaihdon ohjausta käytetään sellaisissa tiloissa, joissa on suurimmat ilmamäärät, sekä sellaisiin, jotka eivät ole jatkuvasti käytössä. Tällaisia tiloja ovat luokkahuoneet, ryhmätyötilat, käytävät, aulat sekä opettajainhuone.

**TAULUKKO 2. Ilmamääräohjattujen tilojen minimi- ja maksimi-ilmavirrat huononeliölle**

Nimi	Ilmavirta	
	min	max
	dm <sup>3</sup> /s/m <sup>2</sup>	
AULAT JA KÄYTÄVÄT	1,3	4,0
OPETTAJIEN HUONE	1,7	5,0
PUKEUTUMISTILAT	1,3	4,0
OPETUSTILAT	1,0	3,0
ILTAPÄIVÄKERHO	1,3	4,0
NEUVOTTELUHUONE	2,0	6,0

Taulukossa 2 on ryhmitetty tiloja, joissa käytetään ilmamääräohjausta. Taulukossa on esitetty, missä rajoissa tuloilmavirta liikkuu. Tuloilmavirta on esitetty huononeliötä kohti, mutta kuitenkin tiloissa, joiden henkilökuorma tiedetään, käytetään mitoitusperusteena henkilökuormia. Tilojen minimi-ilmavirtoina on käytetty yhtä kolmasosaa maksimi-ilmavirrasta säätölaitteiden teknisten ominaisuuksien vuoksi. Minimii-ilmavirroilla tuuletetaan tiloja silloin kun ne eivät ole käytössä.

Vakioilmavirtaisessa järjestelmässä kaikkiin tiloihin puhalletaan jatkuvasti mitoitusilmavirtaa, joten automaation avulla toimivat ilmavirtasäätimet eivät ole tarpeellisia. Ilmavirtasäädinten tilalla käytetään normaaleja säätöpeltejä, mitkä lukitaan asentoonsa kanavistojen tasapainotuksen jälkeen. Ilmastointijärjestelmiä ohjataan aikaohjelmoin.

Ilmastointikoneet toimivat täydellä teholla rakennuksen pääasiallisena käyttöaikana maanantaista perjantaihin aikavälillä 8-16. Iltaisin käytetään puolitehoa, sillä käyttö on

tällöin satunnaisempaa. Viikonloppujen ja lomien aikana tarkasteltavat koneet ovat pysähdyksissä, ja perusilmanvaihto toteutetaan käyttämällä hygieniatilojen ilmanvaihtoa.

**TAULUKKO 3. Ilmastointikoneiden paineenkorotukset, maksimi-ilmavirrat sekä SFP-luvut**

IV-kone	$\Delta p$ (Pa)	$q_v$ (m <sup>3</sup> /s)	SFP-luku kW/m <sup>3</sup> /s
302TK01	742	2,873	2,06
302PK01	708	2,419	
304TK01	753	3,966	1,99
304PK01	674	3,598	

Taulukossa 3 on nähtävissä työn kohteen alueella toimivien ilmastointikoneiden paineenkorotukset, maksimi-ilmavirrat sekä SFP-luvut. 302TK01 ja 302PK01 palvelee rakennuksen eteläsiiven ensimmäistä kerrosta, ja 304TK01 ja 304TK02 toista kerrosta. Taulukossa ei ole esitetty alueen hygieniatilojen poistoilmakoneita, sillä ne on rajattu tästä työstä pois. Hygieniatilojen poistoilmanvaihdon ansioista rakennuksesta tulee alipaineinen, sillä niiden poistoilman määrä ylittää ilmastointikoneiden tulo- ja poistoilmamäärän erotuksen.

Lisäksi ilmastointijärjestelmissä käytetään yötuuletusta touko- ja elokuussa klo 21-07. Yötuuletuksen minimi-lämpötilaero ulko- ja sisäilman välillä -3°C. Alin sallittu huonelämpötila on yöllä 15°C. Yötuuletuksen tarkoituksena on keventää rakenteisiin varautunutta lämpökuormaa. Yötuuletuksen aiheuttama huonelämpötilan lasku korjataan nostamalla tuloilman lämpötilaa aikavälillä 07-08.

### 3.2 Tietomallinnus

Perinteinen kaksiulotteinen piirustus muodostuu viivoista ja muista graafisista elementeistä. Leikkauksista sekä muista halutuista kuvakulmista on piirrettävä omat kuvansa. Kaksiulotteinen piirustus ei graafisen informaation ja tekstien lisäksi sisällä tietoa. Digitaalinen tietomalli sisältää rakennuksen- ja sen osien muodon kolmiulotteisesti määriteltynä. Tietomalli voi sisältää tietoja prosesseista, osien toiminnasta ja leikkauk-

set voidaan tulostaa automaattisesti. Tietomallin avulla voidaan tehdä helposti kustannuslaskelmia, aikatauluja, energialaskelmia ja simulaatioita, jotka perinteisillä metodeilla vaatisivat huomattavaa lisätyötä tiedonkeruun ja laskelmien muodossa.

### 3.2.1 Tietomallinnuksen hyödyt

Etuna tietomallintamisessa on mm. suunnitteluvirheiden väheneminen ja suunnitelmien laadun parantuminen laadunvarmistuksen törmäystarkastelujen sekä mallin tarkistettavuuden kautta. Törmäystarkasteluja voidaan tehdä eri suunnittelualojen valitsemien objektien kesken automaattisesti. Suunnitelmien havainnollisuus parantuu kolmiulotteisen visualisoinnin avulla. Muutoksia on helpompi hallita, kun käytössä on yhteinen ajan tasalla oleva malli. Malli helpottaa myös kustannuslaskentaa, sillä siitä saadaan suoraan erilaisten materiaalien määriä. Suunnitelmien lisääntynyt tietosisältö antaa lisäarvoa suunnitelmille. Mallin avulla on myös helpompaa vaiheistaa rakennusprosessia eli tutkia, missä järjestyksessä kannattaa mikäkin osa tai järjestelmä rakentaa rakennukseen.

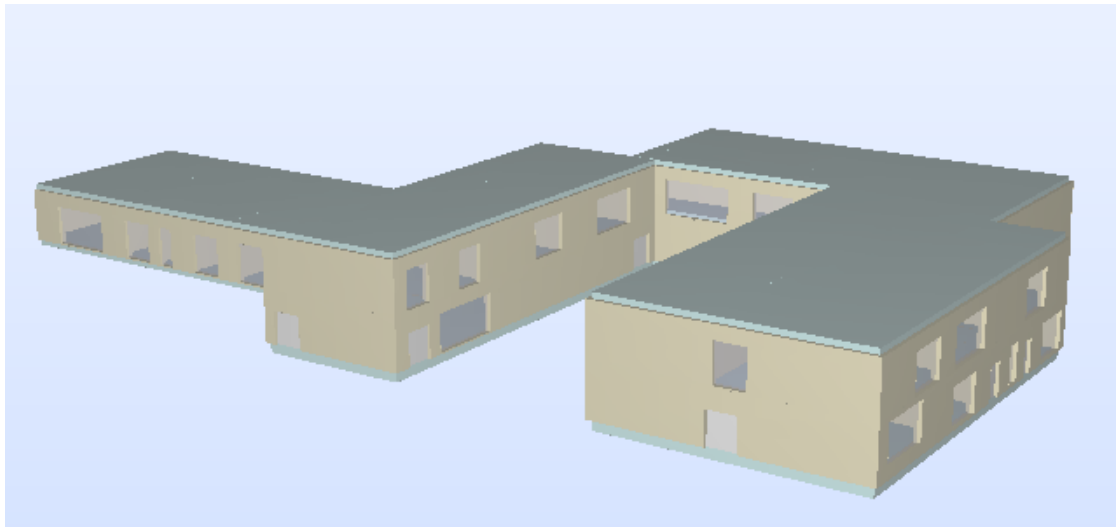
Mallin avulla voidaan analysoida sisäilmaston laatua sekä viihtyisyyttä simuloitujen tulosten perusteella. Simuloinnin avulla voidaan selvittää sisäilmaston eri tekijöitä, kunhan niistä voidaan tehdä matemaattinen yhtälö. Hyödyllistä tietoa tässä tapauksessa ovat mm. huoneiden sisälämpötilat, lämpöhäviöt ja energiankulutustiedot. Tietomallin tietoihin voidaan lisätä myös aika- ja kustannustietoa, jolloin sen avulla voidaan myös arvioida energiankulutuksen simuloinnin kautta elinkaarikustannuksia ja ympäristövaikutuksia, sekä vertailla erilaisia järjestelmäratkaisuja.

Tietomallin avulla saadaan paljon tietoa, joka auttaa mm. rakennuttajan ja rakennuksen tulevan käyttäjän päätöksenteossa (esimerkiksi energiasimuloinnit). Mallia voidaan käyttää myös rakentamisen valmistelussa sekä rakentamisessa (esimerkiksi materiaaliluettelot tarjouslaskentaan) ja sitä voidaan hyödyntää myös kiinteistön käyttö- ja ylläpitovaiheessa. Tietomallin hyödyllisyyden edellytyksenä on yhteensopivat ohjelmistot, mutta tätäkin asiaa ollaan kehittämässä. Tietomallin yhteensopivuusongelmia voidaan hallita, jos sovitaan, että käytetään yhteensopivia ohjelmistoja. Suomessa digitaalisen mallintamisen kehitystyötä tekee tällä hetkellä ainakin TEKES. Osa rakennuttajista vaatii jo tietomallin käyttämistä osana suunnitteluprosessia. [2.s 1]

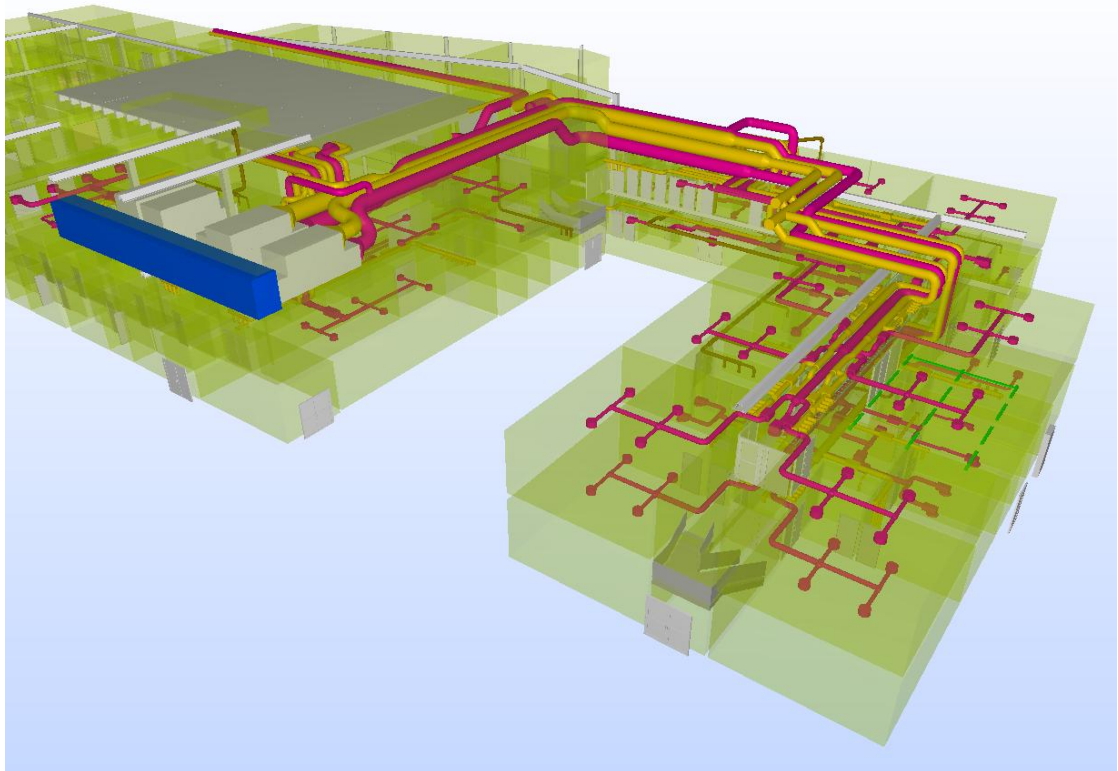
### 3.2.2 Toteutus

Tässä työssä geometriseen mallintamiseen käytettiin AutoCad-ohjelmassa toimivan MagiCad-sovelluksen aliohjelmaa MagiRoomia. AutoCad on Autodesk Inc. yhtiön kehittämä ja julkaisema CAD-yleissuunnitteluohjelma, kun taas MagiCad ja MagiRoom ovat suomalaisen Progman Oy:n talotekniseen suunnitteluun kehittämiä sovelluksia. MagiRoomilla mallinnetaan rakennus ulkoisesti, jonka jälkeen se muunnetaan IFC-tiedostoksi (Industry Foundation Classes), joka on kansainvälisesti yleisesti käytössä oleva tiedostotyyppi ja josta ollaan tekemässä kansainvälistä standardia ISO/IS 16739:ä. Tämä IFC-tiedosto avataan Olof Granlund Oy:n Roomex-sovelluksella (Granlundin sisäiseen käyttöön kehitetty), jolla hallitaan rakennuksen mallin eri versioita. Roomexissa määritellään rakennusosan tilatyypit eli halutut huoneolosuhteet ja ilmastointikoneiden palvelualueet. Tämän jälkeen malli avataan Riuska-sovelluksella (Granlundin kehittämä kaupallinen ohjelmisto), jota käytetään energia- sekä olosuhdesimuloinneissa.

Energia- ja olosuhdesimuloinneissa käytettävä malli on hieman yksinkertaistetumpi arkkitehdin tekemästä IFC-mallista. Tässä työssä käytetty malli on tehty arkkitehdin toimittaman pohjakuvien sekä leikkausten perusteella. Lähtökohtaisesti käytetään arkkitehdin toimittamaa IFC-mallia, mutta toisinaan joudutaan tuottamaan oma malli yhteensopivuusongelmien vuoksi. Tämä johtuu siitä, että toisinaan on helpompaa tehdä uusi malli, kuin korjata arkkitehdin tekemän mallin yhteensopivuusongelmia. Yhteensopivuusasioissa tarvitaan vielä kehitystyötä. Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan rakennuksen eteläsiipeä, joten simuloitava malli on tehty vain siltä alueelta. Mallien visualisointiin on käytetty Riuskaa sekä Solibri Model Checker-ohjelmaa, joka on Solibri Inc.:n kehittämä kaupallinen sovellus.



**KUVA 2. Simuloinneissa käytetty IFC-malli eteläsiivestä lounaasta**



**KUVA 3. Eteläsiiven ilmanvaihtolaitteet sijoitettu yhdistelmämalliin (seinät, pohjat ja katot läpinäkyviä)**

### 3.3 Simulointi

Simulointi tarkoittaa todellisuuden jäljittelyä. Tässä yhteydessä se merkitsee lähtötietojen avulla kohteen toiminnan ennustamista. Tähän toimintaan on nykyteknologia



suonut mahdollisuuden käyttää tietotekniikkaa, joka huomattavasti nopeuttaa lasku-  
prosesseja.

Taloteknisiin tarkoituksiin simulointia käytetään yleensä ennustamaan sisäilmaston olosuhteita sekä energiankulutusta. Olosuhdesimulointia käytetään, kun halutaan tietoa huoneiden viihtyisyydestä. Energiasimulointien pohjalta voidaan tehdä esimerkiksi elinkaarikustannus- ja ympäristövaikutustarkasteluja. Näiden lisäksi käytetään myös valaistus- ja virtaussimulointeja. Virtaussimulointeja käytetään tilan lämpötilojen kerrostumisen ja ilmapvirtausten analysointiin, kun halutaan tarkempaa tietoa tilan lämpöoloista ja ilman nopeuksista. Valaistussimulointia taas käytetään valaistusvoimakkuuden ja häikäisyn tarkasteluun.

Tässä työssä tietomallin simulointiin on käytetty Riuska-sovellusta, joka käyttää DOE 2.1E laskentamoottoria. Riuskaa käytetään lämpöhäviö-, olosuhde- ja energiankulutussimulointeihin. Riuskan olosuhdesimuloinnin avulla voidaan mm. tutkia tilojen lämpötiloja, vertailla erilaisia ikkunoita ja ikkunasuojauksia, varmistaa tavoitteenmukaisuus ja analysoida ongelmia tiloissa. Riuskan energiasimuloinnilla voidaan tutkia taloteknisten järjestelmien energiankulutusta, vertailla eri arkkitehtiratkaisuja, sisäilmaston laatutasoja ja eri järjestelmiä. Riuskaa voidaan käyttää myös lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien mitoittamiseen.

Ohjelmaan syötetään tarvittut lähtötiedot. Syötettyjen lähtötietojen avulla Riuska simuloi tilakohtaisesti esimerkiksi lämpökuormat ja laskee huonelämpötilan kehityksen, tarvittun ilmapvirran, lämmitys- sekä jäähdytystehontarpeen. Tässä työssä simuloidaan tilojen olosuhteita, lämmitykseen kuluva energiaa tilojen ja ilmanvaihdon osalta sekä puhallinsähkön kulutusta.

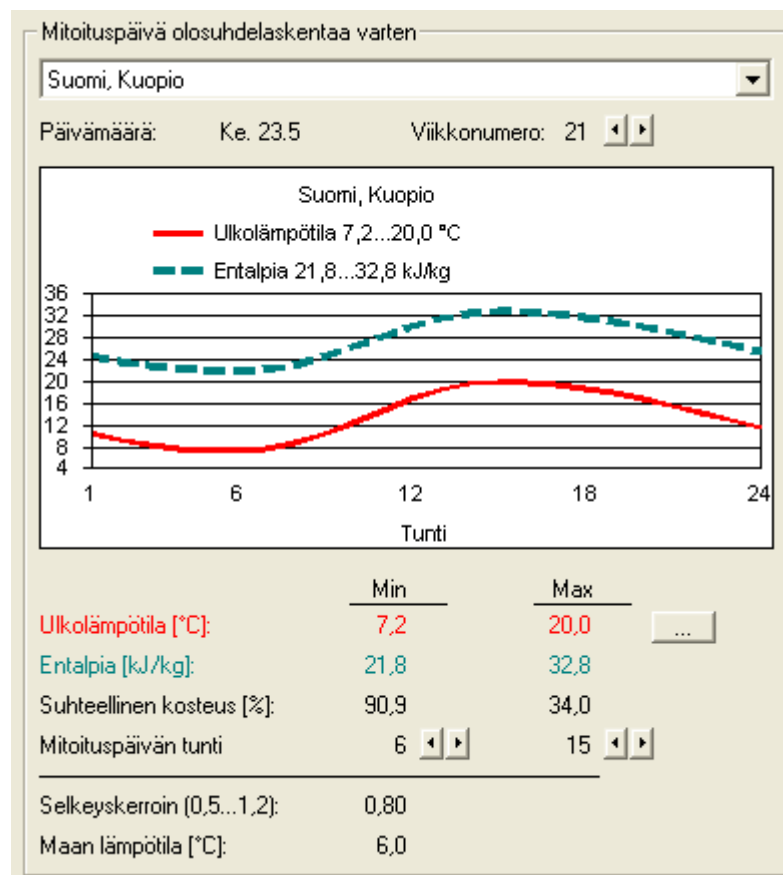
### **3.3.1 Lähtötiedot**

Simuloinnissa tarvittut lähtötiedot:

- rakennuksen sijainti ja ilmansuunta
- ulkoilman olosuhteet,
- rakennuksen käyttöajat ja sisäiset kuormat,
- halutut sisäilman olosuhteet,

- suunnitellut ilmamäärät,
- LTO:iden tehokkuus sekä
- rakenteiden ja ikkunoiden tiedot.

Rakennus sijaitsee Kuopiossa, joten simuloinneissa voidaan käyttää Kuopion säädataa. Olosuhdesimulointien mitoituspäiväksi on valittu 23. toukokuuta. Toukokuun 23. päivän lämpötila on 15°C kello 00. Sisäilmaluokitus 2008:n mukaan lämpöolojen tavoitearvojen toteutuminen voidaan tarkastaa, kun ulkolämpötila on 15°C ja sää on selkeä [1, s.16]. Päivän korkein ja alhaisin ulkoilman entalpia sekä lämpötila on otettu säädatasta. Rakennus ei ole käytössä kuumimpina kesäkuukausina, joten ei ole järkevää ajoittaa mitoituspäivää tuolle ajalle. Energiasimuloinneissa sen sijaan käytetään koko vuoden säädataa.



**KUVA 3. Mitoituspäivän ulkoilman olosuhteet**

Kuva 3 on tulostettu Riuskasta. Ulkoilman olosuhteisiin voidaan valita paikkakunta, viikko (mitoituspäivä keskiviikko), ja asettaa ulkolämpötila sekä entalpia kahdelle

kellonajalle. Ulkoilman suhteellinen kosteus on laskettu entalpian ja lämpötilan avulla. Tuntikohtaiset lämpötilat ja entalpiat ovat sinikäyrän mukaisia.

**TAULUKKO 4. Rakenteiden ominaisuudet**

Tyyppi	U-arvo	C3-vertailu U-arvo	Massiivisuus
	(W/m <sup>2</sup> , °C)	(W/m <sup>2</sup> , °C)	(kg/m <sup>3</sup> )
Ulkoseinä	0,17	0,17	1057
Väliseinä	0,6	-	146
Välipohja	1,81	-	1414
Yläpohja	0,09	0,09	837
Alapohja	0,15	0,16	961
Ikkunat	1,04	1,0	-
Ulko-ovi	1,0	1,0	-

Mallintamisessa rakenteille syötetään arkkitehdiltä saadut tiedot. Seinien, alapohjan ja yläpohjan eri rakennekerrokset voidaan syöttää simulointiohjelmaan, joka laskee niistä lämmönläpäisykertoimen, mitä käyttää simuloinnissa. Taulukossa 4 on nähtävillä mallintamisessa käytettyjen rakenteiden U-arvot ja massiivisuus. U-arvoja tarvitaan lämpöhäviöiden ja lämpöolojen simuloinnissa. Massiivisuus taas vaikuttaa rakenteiden lämmönvaraukseen ja tulee ottaa huomioon simuloinnissa. Arvot on laskettu Riukseen syötettyjen rakennekerrosten avulla. C3-vertailuarvoja käytetään laskettaessa rakennuksen vaipan vertailuarvo rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisesti. Rakennuksen vaipan lämpöhäviö saa olla 30 % suurempi kuin vertailuarvoilla laskettu lämpöhäviö, jos ylitys tasataan pienentämällä rakennuksen vuotoilman tai ilmanvaihdon lämpöhäviötä.

**TAULUKKO 5. Olosuhdesimuloinneissa käytettyjen lasiosien U-arvot ja kokonaislämpösäteilyn läpäisevyys**

Tapaus	Ikkunan U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)	Kokonaisläm- pösäteily (%)
Peruslasi (1xclear+2xFenestra Super 88, 6+6+6mm)	1,04	45,40
Superlasi (Suncool50/25+clear +OptithermSN, Argon, 6+6+6mm)	0,44	24,30

Taulukossa 5 nähdään olosuhdesimuloinneissa käytettyjen lasityyppien ominaisuudet. U-arvo on ikkunan lämmönläpäisykerroin ja kokonaislämpösäteily on ikkunan läpi pääsevä auringon lämpösäteily. Molemmat lasit ovat pinnoitettuja, ja superlasin kerrosten välissä on lisäksi käytetty argonia. Superlasin käytön aiheuttamia vaikutuksia huoneolosuhteisiin on tutkittu myöhempanä. Lasin lisäksi ikkunan lämmönläpäisyyden vaikuttaa myös ikkunan puitteet. Simuloinneissa on käytetty alumiinista 50mm leveää puitetta, jonka U-arvo on 3,5 W/m<sup>2</sup>/°C.

Tiloihin kohdistuu erilaisia lämpökuormia. Lämpökuormia syntyy auringon lämpösäteilystä, ihmisen aineenvaihdunnan tuottamasta lämmöstä, valaisimien ja muiden sähkölaitteiden tuottamasta lämmöstä. Auringon lämpökuormien arviointiin käytetään simulointia ja muiden lämpökuormien arvoina käytetään Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaisia ohjearvoja. Nämä kuormat vaikuttavat tilojen sisälämpötiloihin ja sitä kautta olosuhteisiin. Simuloinnissa käytetyt valaistus-, henkilö- ja laitekuormien aikataulut on arvioitu tilatyyppien sekä tilojen käyttöaikojen perusteella.

**TAULUKKO 6. Rehtorin huoneen sisäiset lämpökuormat**

Kuorma	W	W/m <sup>2</sup>	hlö/m <sup>2</sup>	Mitoitusaikataulu
Ihmiset	114,1	7,5	0,1	8h/vrk, 1350h/a
Valaistus	228,2	15		8h/vrk, 1350h/a
Laitteet	228,2	15		8h/vrk, 1350h/a

Taulukossa 6 nähdään rehtorin huoneen sisäiset lämpökuormat. Kokonaiskuorma (W) on laskettu neliömäärän perusteella. Kuorma per neliö arvoina on käytetty Sisäilmas-

toluokituksen mukaisia ohjearvoja. Mitoitusaikataulut on tehty huoneen käytön mukaan, 8 tuntia vuorokaudessa, 1350 tuntia vuodessa.

Simuloinnissa huonekohtaisina tuloilman määrinä käytetään suunnitteluarvoja. Ilmastointikoneiden lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhteena on käytetty arvoa 70 % ja puhaltimien hyötysuhteena 65 %. Paineenkorotuksina käytetään taulukossa 3 mainittuja suunnitteluarvoja. Simuloinnissa on käytetty tuloilman lämpötilana asetusarvoa 19 °C ja hyödynnetään yötuuletusta.

## 4 TULOKSET

Tässä osiossa on esitetty olosuhdesimuloinnin, energiasimuloinnin, sekä elinkaarikustannus- ja hiilidioksidipäästölaskelmien avulla saatuja tuloksia.

### 4.1 Simulointi

Simulointia on käytetty tässä työssä kahteen eri tarkoitukseen: 1. tarkastelemaan huoneolosuhteita mitoituspäivänä ja 2. tutkimaan vuotuista energiankulutusta eri järjestelmissä.

#### 4.1.1 Olosuhdesimulointi

Olosuhdesimuloinnin tarkoitus on ehkäistä ongelmia huoneolosuhteissa. Simulointituloksista voidaan nopeasti tulkita, mitkä tilat eivät täytä haluttuja vaatimuksia mitoituspäivänä. Tällaisia tiloja oli rakennuksen länsi- ja eteläpuolilla. Näiden huoneiden huoneilämpötila nousi mitoituspäivänä yli sisäilmastoluokan S2 tavoitearvojen, johtuen lähinnä huoneiden suurista ikkunoista. Järjestelmän valinta ei juuri vaikuta huoneiden lämpöoloihin, sillä niiden maksimi-ilmavirta ja sitä kautta jäähdytysteho on sama, pieniä eroja on ainoastaan rakenteisiin varautuneissa lämpökuormissa.

**TAULUKKO 7. Lämpötilaongelmaisten tilojen simuloidut maksimilämpötilat mitoituspäivänä 23.5.**

Nimi	Tavoitearvo		Sim.
	min	max	max
	°C	°C	°C
KANSLIA	21,0	27,0	<b>33,8</b>
TERV.SOS	21,0	27,0	<b>33,2</b>
REHTORI	21,0	27,0	<b>32,0</b>
AP.REHTORI	21,0	27,0	<b>27,5</b>
OT4	21,0	27,0	<b>27,5</b>
TERV.HOITAJA	21,0	27,0	<b>27,5</b>
OT10	21,0	27,0	<b>27,4</b>
LÄÄKÄRI	21,0	27,0	<b>27,4</b>

Simuloitaessa mitoituspäivän maksimilämpötiloja taulukossa 7 esitetyissä tiloissa lämpötila nousi yli tavoitearvojen. Näissä tiloissa lämpötilan nousu aiheutui suurista ikkunoista. Taulukossa on nähtävissä sisälämpötilan tavoitearvot ja olosuhdesimuloinnilla saatu mitoituspäivän huoneen maksimilämpötila.

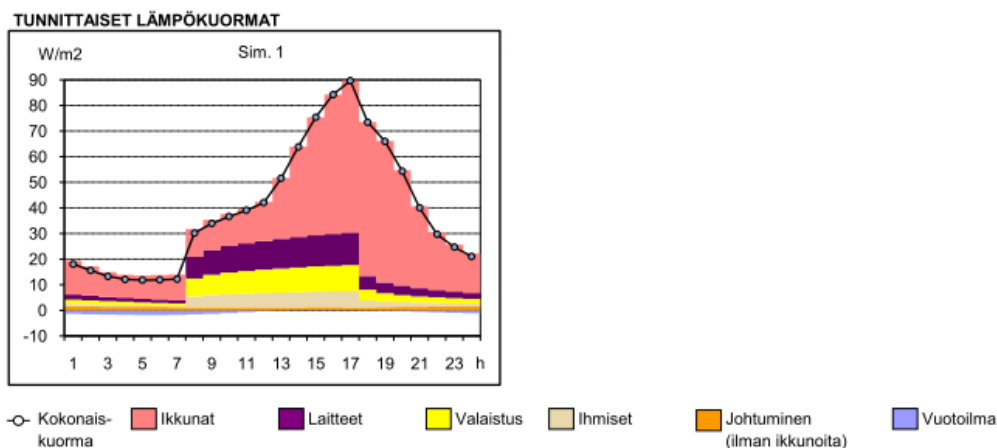
Mallihuoneiksi valittiin luokkahuoneet etelä-, pohjois- ja itäseinustoilta sekä rehtorin huone. Olosuhdesimuloinnin avulla tutkittiin sälekaihtimien vaikutusta huoneen maksimilämpötilaan.

**TAULUKKO 8. Malliluokkahuoneiden maksimilämpötilat mitoituspäivänä 23.5.**

<b>Tapaus</b>	<b>Huoneen max. lämpötila (°C)</b>	<b>Lämpötilaero perustapaukseen (°C)</b>
Peruslasi ilman kaihtimia (etelä)	27,1°C	0°C
Peruslasi kaihtimet sisäpuolella (etelä)	26,1°C	-1°C
Peruslasi ilman kaihtimia (pohjoinen)	24,3°C	0°C
Peruslasi kaihtimet sisäpuolella (pohjoinen)	24,5°C	-0,2°C
Peruslasi ilman kaihtimia (itä)	25,1°C	0°C
Peruslasi kaihtimet sisäpuolella (itä)	24,8°C	-0,3°C

Taulukossa 8 on esitetty malliluokkahuoneiden maksimilämpötilat mitoituspäivänä kolmessa eri luokkahuoneessa. Taulukossa on esitetty saman tilan maksimilämpötila ilman sälekaihtimia sekä sälekaihtimien kanssa, sekä esitetty lämpötilaero tapausten välillä. Taulukosta nähdään sälekaihtimien vaikutus huoneen maksimilämpötilaan.

Tämän lisäksi tutkittiin rehtorin huoneen olosuhteita sen suurten lämpökuormien vuoksi. Rehtorin huoneen 5,2m<sup>2</sup> ikkuna on suunnattu länteen. Rehtorin huoneen olosuhteita on mitoituspäivänä käytetty 13.6. sillä rehtori on töissä myös kesäkuussa.



**KUVA 4. Rehtorin huoneen simuloidut lämpökuormat mitoituspäivänä 13.6.**

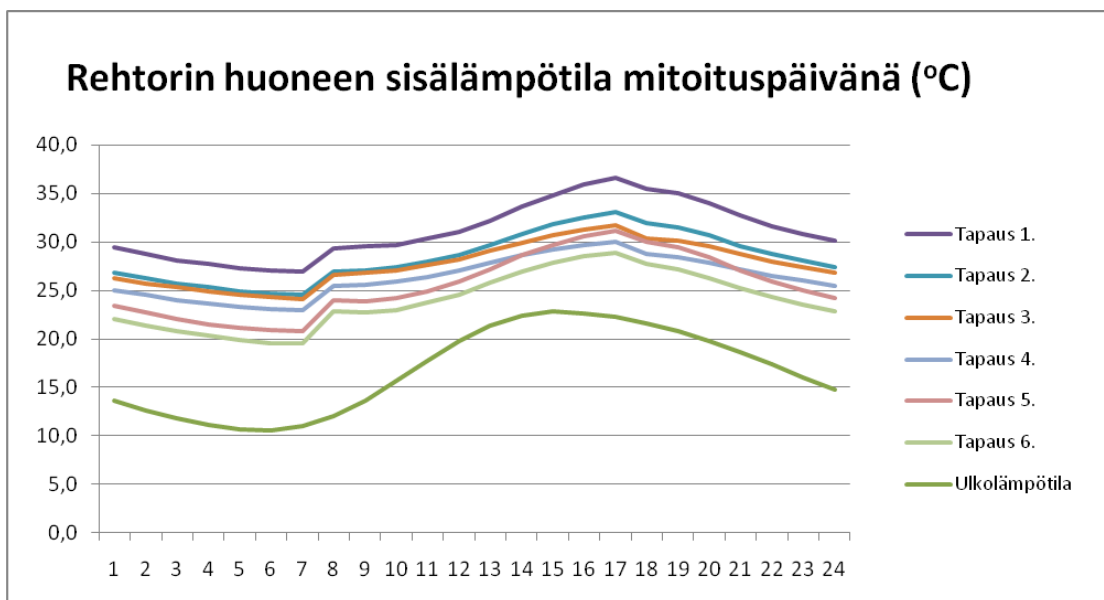
Kuvassa 4 on nähtävissä auringon ikkunoiden läpi aiheuttama suuri lämpökuorma joka on parhaimmillaan klo 17.00 n.  $60\text{W/m}^2$ . Tämän kuorman lisäksi suurimmat lämpökuormat ovat laitteiden ja valaistuksen aiheuttamia. Muut lämpökuormat ovat vähäisiä. Tuloilman jäähdytysteho tuntikohtaisten tulo- ja sisälämpötilojen perusteella on keskimäärin n.  $33\text{W/m}^2$ . Yöllä esiintyvät lämpökuormat ovat rakenteisiin varautunutta lämpöenergiaa. Tuloilman keskimääräinen lämpötila oleskeluaikana on  $17,4^\circ\text{C}$ . Tarkastelupiste sijaitsee ikkunan edessä ja tuloilman pääte-elin sijaitsee katossa huoneen keskellä. Ilmanjakotapa on sekoittava.

**TAULUKKO 9. Rehtorin huoneen simuloitu maksimihuonelämpötila mitoituspäivänä 13.6.**

Tapaus	Huoneen max. lämpötila ( $^\circ\text{C}$ )	Lämpötilaero perustapaukseen ( $^\circ\text{C}$ )
1. Peruslasi ilman kaihtimia, ilmavirta $2\text{l/s/m}^2$	$36,6^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C}$
2. Peruslasi kaihtimet sisäpuolella, ilmavirta $2\text{l/s/m}^2$	$33,1^\circ\text{C}$	$-3,5^\circ\text{C}$
3. Superlasi ilman kaihtimia, ilmavirta $2\text{l/s/m}^2$	$31,7^\circ\text{C}$	$-4,9^\circ\text{C}$
4. Superlasi kaihtimet sisäpuolella, ilmavirta $2\text{l/s/m}^2$	$30^\circ\text{C}$	$-6,6^\circ\text{C}$
5. Peruslasi ilman kaihtimia, ilmavirta $4\text{l/s/m}^2$	$31,1^\circ\text{C}$	$-5,5^\circ\text{C}$
6. Peruslasi kaihtimet sisäpuolella, ilmavirta $4\text{l/s/m}^2$	$28,9^\circ\text{C}$	$-7,7^\circ\text{C}$

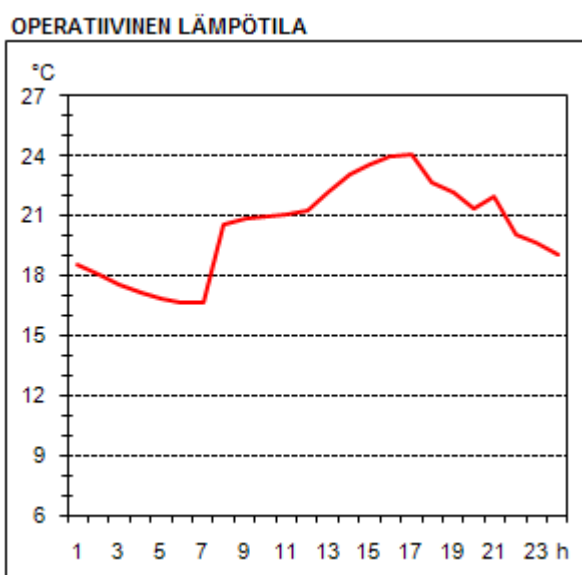


Taulukossa 9 on esitetty simuloinilla saadut huoneen maksimilämpötilat rehtorin huoneessa kahdella eri ikkuna- ja sälekaihdinratkaisulla, ja verrattu lämpötilaa perustapaukseen, peruslasiin ilman sälekaihtimia. Lisäksi lämpötila simuloitiin kaksinkertaisilla ilmamäärillä. Näiden tulosten perusteella arkkitehti päätyi pienentämään ikkunoita.



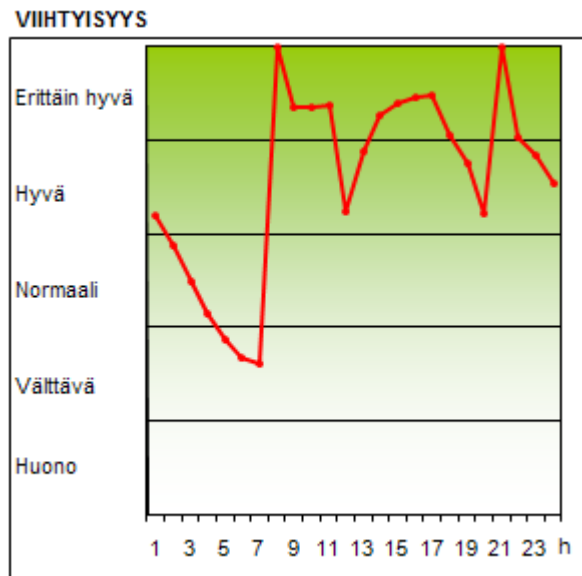
**KUVA 5. Rehtorin huoneen sisälämpötila mitoituspäivänä 13.6**

Kuvassa 5 nähdään rehtorin huoneen sisälämpötilan kehitys. Tapaukset ovat samat kuin taulukossa 9. Kuvassa nähdään yötuuletuksen vaikutus, sekä lämpökuormien aiheuttama huonelämpötilan nousu. Ulkolämpötila on nähtävissä alimmaisena.



**KUVA 6. Rehtorin huoneen operatiivinen lämpötila mitoituspäivänä 13.6**

Ikkunoiden pienentämisen jälkeen käyttämällä sälekaihtimia, superlasia sekä korotettua ilmamäärää saadaan rehtorin huoneen olosuhteet pysymään hyvinä myös kesäkuun mitoituspäivänä. Kuvassa 6 on rehtorin huoneen operatiivinen lämpötila. Kuvasta nähdään, ettei operatiivinen lämpötila nouse 27 asteen tavoitearvon yläpuolelle.



**KUVA 7. Rehtorin huoneen viihtyisyys (PPD), mitoituspäivänä 13.6**

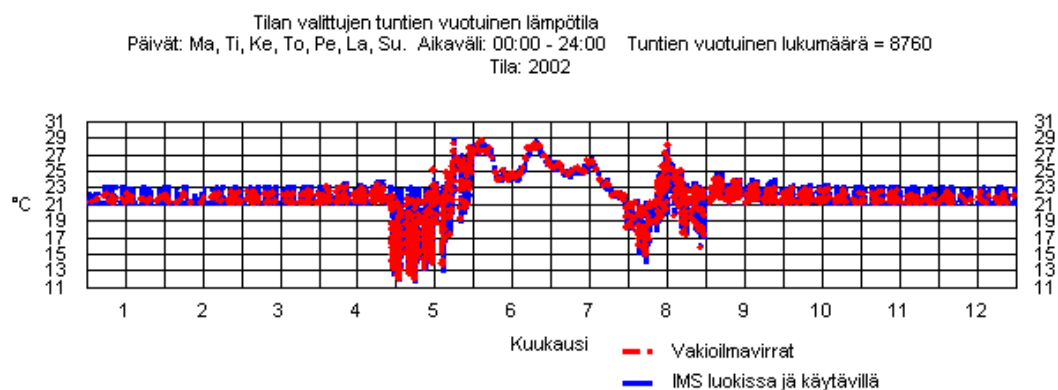
PPD, (Predicted Percentage of Dissatisfied) eli tyytymättömien osuus on saatu simuloimalla huoneen lämpöoloja. Viihtyisyyteen vaikuttaa operatiivinen lämpötila sekä aineenvaihdunnan lämmöntuotto (met). Met-arvona on käytetty 1,2, eli oletus on, että rehtori tekee toimistotyötä. Kuvasta nähdään, että huoneen viihtyisyys pysyy hyvänä käyttöajalla. Öinen viihtyisyyden lasku johtuu yötuuletuksen lasketusta huonelämpötilasta. Tapaus on sama kuin kuvassa 6.

#### 4.1.2 Energiasimulointi

Simuloinnissa lasketaan lähtötietojen perusteella järjestelmien energian vuosikulutus, joka muodostuu ilmastoinnin ja tilojen lämmityksestä sekä puhallinsähköstä. Energiasimuloinneissa simuloitiin johdannossa mainitut neljä järjestelmää. Järjestelmien ero on siinä, minkä tilojen ilmanvaihtoa ohjataan.

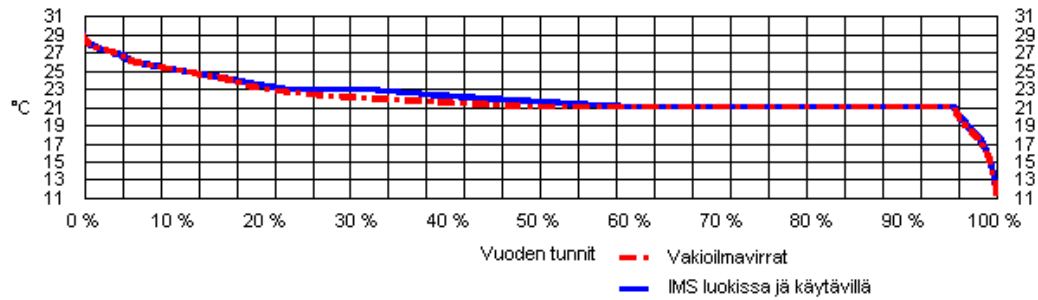
Vakioilmavirtaisessa ilmastointijärjestelmässä ilmavirran pysyessä vakiona simulointiohjelma laskee tuntikohtaisesti tuloilman sekä tilojen lämmitysenergian ulkoilman olosuhteiden mukaisesti. Muuttuvailmavirtaisessa järjestelmässä simulointiohjelma laskee lisäksi tarvittun ilmamäärän tavoitesisälämpötilan ylläpitämiseksi ilmavirtarajoitusten puitteissa. Ellei tilassa tarvita maksimi-ilmavirtaa simuloidun lämpötilan perusteella, simulointiohjelma laskee, millä ilmavirralla saadaan huoneen sisälämpötila pidettyä tavoitearvojen rajoissa. Näistä ilmavirroista lasketaan sitten energiankulutus.

Alle 21 °C lämpötilat johtuvat yötuuletuksen käytöstä, jolloin lämpötilan annetaan laskea alle tavoiterajojen, sekä simulointiohjelman yötuuletuksen säädön huojunnasta. Kesäkuukausina lämpötila nousee yli tavoitearvon 27 °C, mutta suurin osa tiloista ei ole silloin käytössä.



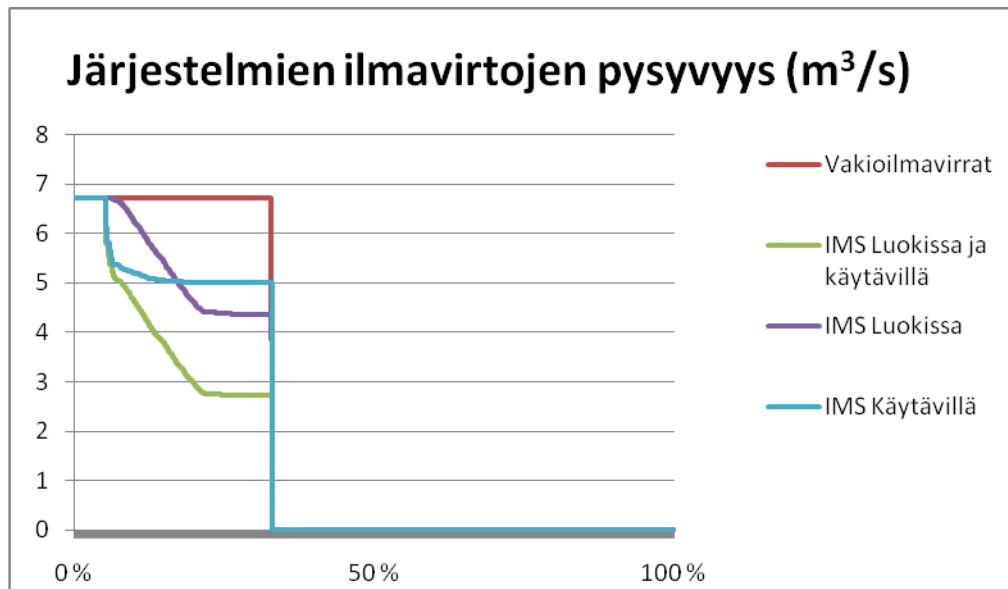
**KUVA 8. Vuotuinen sisäilman lämpötila**

Kuvasta 8 nähdään, että lämpötila pysyy hyvin tavoitteiden rajoissa. Kesäkuukausina ei kyseistä luokkaa palveleva oleva ilmastointikone ole käynnissä, eikä aurinkokuormia lukuun ottamatta lämpökuormia esiinny, ja siten lämpötilakin seuraa vuorokauden keskimääräistä ulkolämpötilaa. Kuvan tapauksena on luokkahuone pohjoisseinustalla.



**KUVA 9. Vuotuinen sisälämpötilan pysyvyys**

Kuvassa 9 on kuvattu sisälämpötilan vuotuista pysyvyyttä. Kuvasta nähdään, että sisälämpötila on alle 10 % tavoitelämpötilojen ulkopuolella, joten siinä suhteessa Sisäilmastoluokituksen luokan S2 tavoitteet täyttyvät. Huone on sama kuin kuvassa 8.



**KUVA 10. Järjestelmien ilmavirtojen pysyvyys**

Suurin ero järjestelmien toiminnassa on tuloilman määrä. Kuvassa 10 on kuvattu eri järjestelmien ilmavirtojen pysyvyyttä. Prosenttiosuus on koko vuodesta, ja pystyakselilla on ilmastointikoneiden yhteenlaskettu tuloilman määrä ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Vakioilmavirrat ylimpänä, nähdään kuinka se puhalttaa maksimi-ilmavirtaa koko toiminta-aikansa ajan. Muissa järjestelmissä on pientä eroa, mutta nähtävissä on, että IMS Luokissa ja käytävillä –järjestelmä puhalttaa vähiten tuloilmaa.

**TAULUKKO 10. Energian kulutus järjestelmittäin (MWh/a)**

Järjestelmä	L tilat	L IV	E <sub>puh</sub>	Σ L
Vakioilmavirta	116,3	77,8	<b>44,6</b>	<b>194,1</b>
IMS Luokissa ja käytävillä	95,8	36,5	<b>27,6</b>	<b>132,3</b>
IMS Luokissa	105,2	55,5	<b>30,2</b>	<b>160,7</b>
IMS Käytävillä	101,2	59,2	<b>28,7</b>	<b>160,4</b>

Tuloilmavirtojen ja ulkoilman olosuhteiden avulla on simuloitu vuotuiset lämmitysenergian kulutustiedot, joita käytettiin laskelmissa arvioitaessa elinkaarikustannuksia. Taulukossa 10 on eritelty tilojen (L tilat) sekä ilmanvaihdon (L IV) lämmitysenergian kulutus, puhallinsähkö (E<sub>puh</sub>) sekä lämmitysenergioiden summa (Σ L). Taulukosta nähdään, että ilmamääräsäätöiset järjestelmät kuluttavat vähemmän tilojen- ja ilmastoinnin lämmitysenergiaa, sekä puhallinsähköä.

Simuloimalla saatujen tuntikohtaisten ulko- ja LTO:n jälkeisten lämpötilojen sekä tilavuusvirran avulla on laskettu lämmöntalteenoton hyödyntämä lämmitysenergia ja sitä kautta LTO:n hyödyntämän energian osuus ilmastointikoneen käyttämästä lämmitysenergiasta. Jäteilman alin sallittu lämpötila -8°C on otettu huomioon. Jäteilman lämpötilana voidaan käyttää alle nollan, jos poistoilman kosteus ei ole suuri ja poistoilma ei siten saavuta kyllästymispistettä.

## KÄYTETTY YHTÄLÖT

$$L_{lto} = \sum_{8760}^1 (c_i * q_{vn} * \rho_i * (t_{ulko} - t_{lto}) * T) \quad (1)$$

Lämmöntalteenoton hyödyntämä energia vuodessa. Kaavalla 1 lasketaan tuntikohtaisten ilmavirtojen ja lämpötilojen avulla koko vuoden energia.

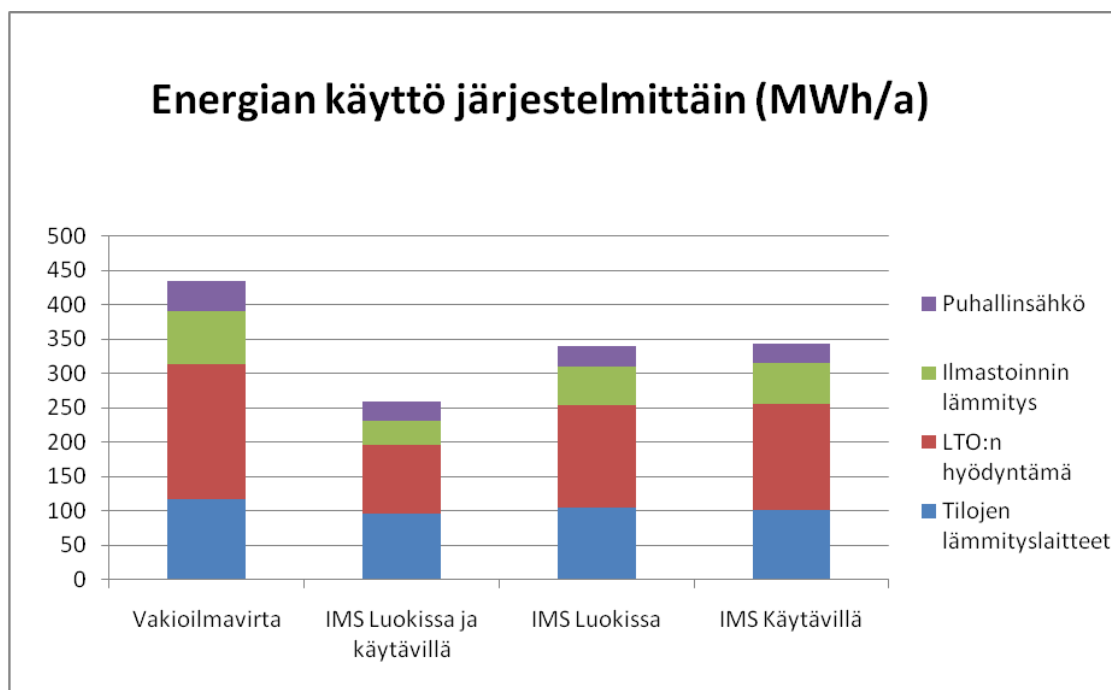
$$\eta_{energia} = \frac{L_{lto}}{(L_{IV} + L_{lto})} \quad (2)$$

Kaavalla 2 saadaan lämmöntalteenoton energiahyötysuhde, eli lämmöntalteenoton hyödyntämän energian osuus koko ilmastointikoneen lämmitysenergiasta.

**TAULUKKO 11. Lämmöntalteenoton hyödyntämä lämmitysenergia, ilmastointipatterin käyttämä lämmitysenergia ja energiahyötysuhde**

Järjestelmä	$L_{lto}$ (MWh/a)	$L_{IV}$ (MWh/a)	$\eta_{energia}$
Vakioilmavirta	196,2	77,8	0,716
IMS Luokissa ja käytävillä	99,5	36,5	0,732
IMS Luokissa	148,5	55,5	0,727
IMS Käytävillä	153,9	59,2	0,722

Taulukossa 11 on esitetty eri järjestelmien lämmöntalteenoton hyödyntämä energia (kaava 1), ilmanvaihdon käyttämä lämmitysenergia (taulukko 10) sekä energiahyötysuhde (kaava 2).



**KUVA 11. Energian käyttö järjestelmittäin (MWh/a)**

Kuvassa 11 on pinottu kaavio eri järjestelmien energiankulutuksesta. Ylimpänä pylväissä on puhallinsähkö, jonka osuus ilmastointipatterin käyttämään lämmitysenergiaan verrattuna on huomattava. LTO:n poistoilmasta hyödyntämä lämmitysenergia on suurin. Tilojen lämmityslaitteiden käyttämä energia on alimpana.

## 4.2 Elinkaarikustannukset

Järjestelmän elinkaaren aikaisiin kustannuksiin vaikuttaa niiden urakointikustannukset, huollontarve sekä energiankulutus. Seuraavassa on laskettu näiden osatekijöiden kustannusten ero vakioilmavirtaiseen järjestelmään. Ilmamääräsäätöinen järjestelmä vaatii lisäkustannuksia urakointikustannuksissa ilmamääräsäätimien hankinnan, automaatiojärjestelmän toteutuksen sekä säätimien kaapelointitarpeen vuoksi. Lisäksi ilmamääräsäätöinen järjestelmä tarvitsee enemmän huoltoa. Järjestelmien elinkaaren pituus on 25 vuotta, ja se alkaa vuonna 2011.

### 4.2.1 Urakointi

Urakointikustannusten erot syntyvät vakioilmavirtaiseen järjestelmään verrattuna IMS-peltien hintaerosta verrattuna normaaleihin säätöpelteihin, IMS-peltien vaatiman automaation, sekä sähkökaapeloinnin toteutuksesta. Ilmamääräsäätöisessä järjestelmässä on luokissa yhteensä 36, käytävillä 21, ja neuvotteluhuoneella 2 IMS-peltiä.

**TAULUKKO 12. Järjestelmien urakointikustannusten ero (€)**

Järjestelmä	IMS-peltejä (kpl)	LVI (€)	Automaatio (€)	Sähkö (€)	Yht. (€)
Vakioilmavirta	0	0	0	0	<b>0</b>
IMS Luokissa ja käytävillä	59	10000	7375	1620	<b>18995</b>
IMS Luokissa	38	6102	4750	1080	<b>11932</b>
IMS Käytävillä	23	3559	2875	420	<b>6854</b>

LVI-urakoinnin osalta on arvioitu, että IMS-pellit ovat 10000 € kalliimpi ratkaisu kuin pelkät säätöpellit [3], yhden peltin hintaeroksi muodostuen n.170€. Automaatiourakoinnin erona 125 €/automaatiopiste, ja jokainen IMS-pelti tarvitsee oman automaatiopisteen [4]. Sähköurakoinnin muutokset kaapelointikustannuksissa ero on 60 €/IMS-ohjattu tila [5]. Taulukossa 12 on laskettu eri osatekijöiden aiheuttama urakointikustannusten ero.

#### 4.2.2 Huolto

Järjestelmien haluttua toimintaa halutaan pitää yllä huollon avulla. Huolto koostuu toiminnan tarkkailusta, ja kunnon tarkastuksista sekä osien puhdistuksesta ja vaihdoista. Ilmastointijärjestelmien tarkkailuun käytetään valvontajärjestelmää, joka tarkkailee järjestelmän osien toimintaa ja olosuhteita.

Vaikka järjestelmien osat on pyritty tekemään mahdollisimman kestäviksi ja varmatoimisiksi, vaativat ne silti huoltoa. Koska järjestelmien rakenne ei eroa kuin ilmastovirtasäätimien ja sitä ohjaavan automaation osalta, ei niiden huoltokaan eroa muilta osin. Järjestelmän toiminnan kannalta on ilmastovirtasäätimien kunto ja toiminta tarkastettava kerran vuodessa keväthuollon yhteydessä. Seuraavassa on laskettu järjestelmien huoltokustannusten eroja.

#### KÄYTETYT YHTÄLÖT

Vuoden työmenekki (min):

$$te_1 = (T_{ims} * Y_{ims} + T_{iris} * Y_{iris}) * f \quad (3)$$

Vuoden työmenekki (h):

$$te = te_1 / 60 \text{ min} / h \quad (4)$$

Huoltokustannukset vuodessa:

$$Hk = te * 50 \text{ €} / h \quad (5)$$

Huoltokustannukset elinkaaren aikana:

$$Hk,e = Hk * 25a \quad (6)$$

joissa:

<b>T<sub>ims</sub></b>	on IMS-pellin huollon aikamenekki, min/kohde
<b>T<sub>iris</sub></b>	on normaalin säätöpellin huollon aikamenekki, min/kohde
<b>Y</b>	on huoltomenetelmän kohteiden lukumäärä
<b>f</b>	on esiintymiskerroin, kuinka monta kertaa menetelmä toistetaan vuodessa
<b>te<sub>1</sub></b>	on työmenekki minuuttia/vuosi
<b>te</b>	on työmenekki, tuntia/vuosi
<b>Hk</b>	on huollon kustannukset vuodessa, €
<b>Hk, e</b>	on huollon kustannukset elinkaareissa, €

[6, s. 44, 60-65]



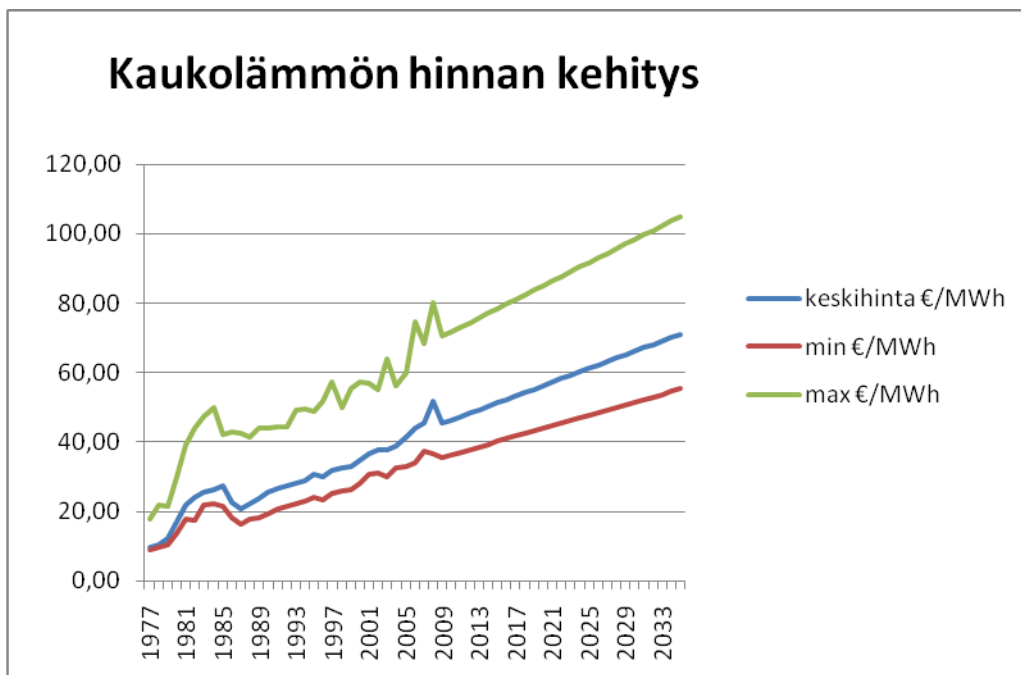
**TAULUKKO 13. Järjestelmien huoltokustannusten ero (€/ek)**

Järjestelmä	T <sub>ims</sub>	T <sub>iris</sub>	Y <sub>ims</sub>	Y <sub>iris</sub>	f	te <sub>1</sub>	te	Hk	Hk,e	Erotus
Vakioilmavirta	22	15	0	59	1	885	15	738	18438	0
IMS Luokissa ja käytävillä	22	15	59	0	1	1298	22	1082	27042	8604
IMS Luokissa	22	15	38	21	1	1151	19	959	23979	5542
IMS Käytävillä	22	15	23	36	1	1046	17	872	21792	3354

Aikamenekit on arvioituja, mutta säädön vaativuudesta johtuen IMS-pellin aikamenekki on normaaliin säätöpeltiin verrattuna noin puolitoistakertainen. Huollon tuntikustannuksena on käytetty 50€/tunti. Esiintymiskerroin on kerran vuodessa, vuosi-huollon yhteydessä.

#### 4.2.3 Energiakustannukset

Rakennuksen elinkaarikustannusten suurin tekijä on energiankulutus. Seuraavassa on arvioitu energiakustannuksia kaukolämmön arvioidun hinnan kehityksen perusteella. Järjestelmien todellinen säästö saadaan vähentämällä energiakustannusten säästöstä lisääntyneet urakointi- ja huoltokustannukset.

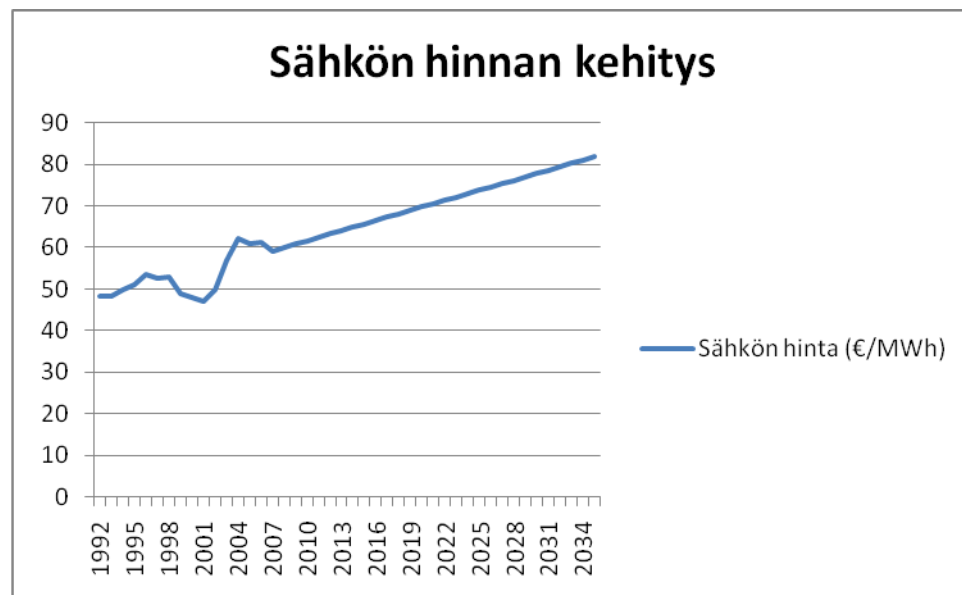
**KUVA 12. Kaukolämmön hinnan kehitys**

Työssä on arvioitu kaukolämmön hinnan kehitystä. Vuosien 1977–2008 kaukolämmön hintatiedot on saatu Energiateollisuus Ry:ltä [7]. Kuvassa 12 on esitetty kaukolämmön hinnankehityksen arvio vuosille 2009–2035 vuosien 1977–2008 hintatietojen mukaan, edellyttäen kaukolämmön hinnan kasvavan lineaarisesti trendin mukana. Kuvassa on arvioitu hinnankehitys minimi- sekä maksimihinnalle.

**TAULUKKO 14. Järjestelmien lämmitysenergiakustannusten säästö elinkaaressa**

Järjestelmä	Keskihinta (€)	Säästö (€)	Min (€)	Säästö (€)	Max (€)	Säästö (€)
Vakioilmavirta	246531	0	192468	0	371821	0
IMS Luokissa ja käytävillä	168037	78494	131188	61280	253436	118385
IMS Luokissa	204109	42422	159349	33119	307839	63982
IMS Käytävillä	203728	42803	159051	33417	307265	64556

Energiakustannukset on laskettu vuosikohtaisen kaukolämmön hinnankehityksen avulla simuloiduista lämmitysenergian kulutuksista (Taulukko 10. Energian kulutus järjestelmittäin). Taulukossa on laskettu elinkaaren aikaiset energiakustannukset ja niiden säästöt vakioilmavirtaiseen järjestelmään. Energiakustannukset ja niiden säästöt on laskettu minimi-, keski- ja maksimihhinnoilla.



**KUVA 13. Sähkön hinnan kehitys**

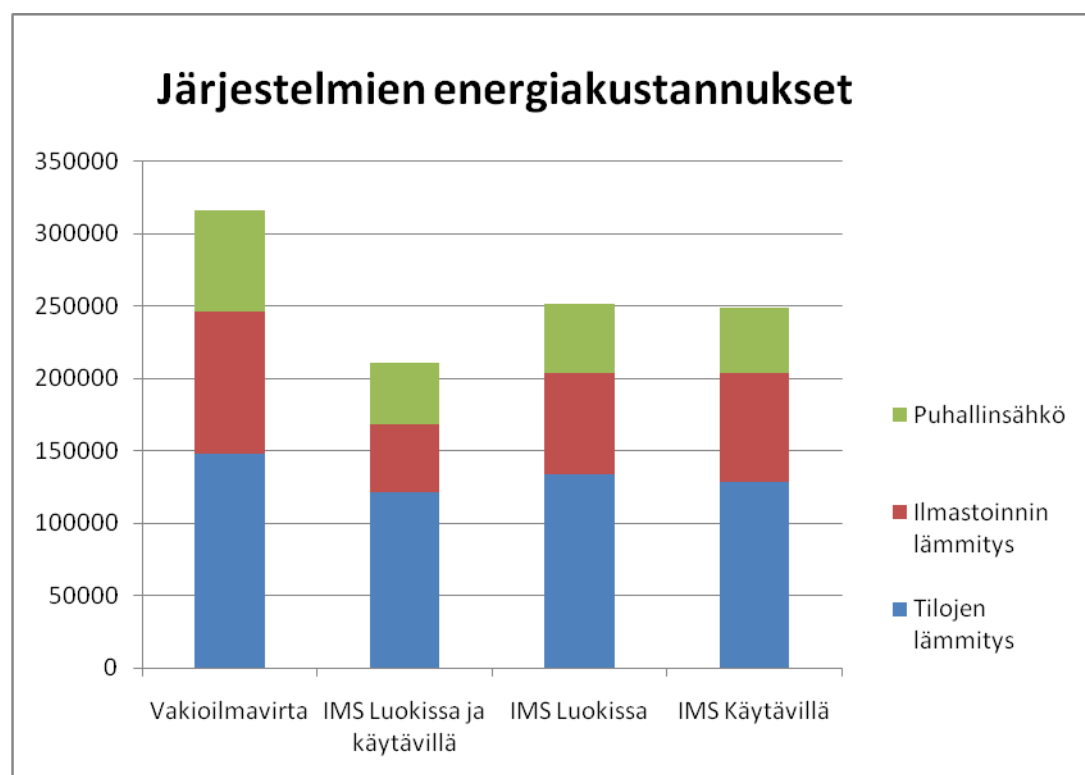
Sähkön hintana on vuosina 1992–2009 Energiamarkkinaviraston Eräiden tyyppikäyttäjien sähkön verottoman kokonaishinnan kehitys (kulutusluokka T1, 150MWh/a) [8], ja

siitä eteenpäin vuosien 1992-2009 trendin mukaisesti. Hinnat ovat koko maan verottomia keskihintoja, ja niihin sisältyy sähkön siirto.

**TAULUKKO 15. Järjestelmien puhallinsähkökustannusten säästö elinkaaressa**

Järjestelmä	Energiakustannukset (€)	Säästö (€)
Vakioilmavirta	69585	0
IMS Luokissa ja käytävillä	43062	26523
IMS Luokissa	47118	22467
IMS Käytävillä	44778	24807

Taulukossa 15 on laskettu puhaltimien sähköenergiankulutuksen kustannukset elinkaaren ajalta kuvan 13 hinnankehityksen mukaisesti. Puhaltimien vuotuinen energiankulutus  $E_{\text{puh}}$  on esitetty taulukossa 10. Säästö on verrattu vakioilmavirtaiseen järjestelmään.



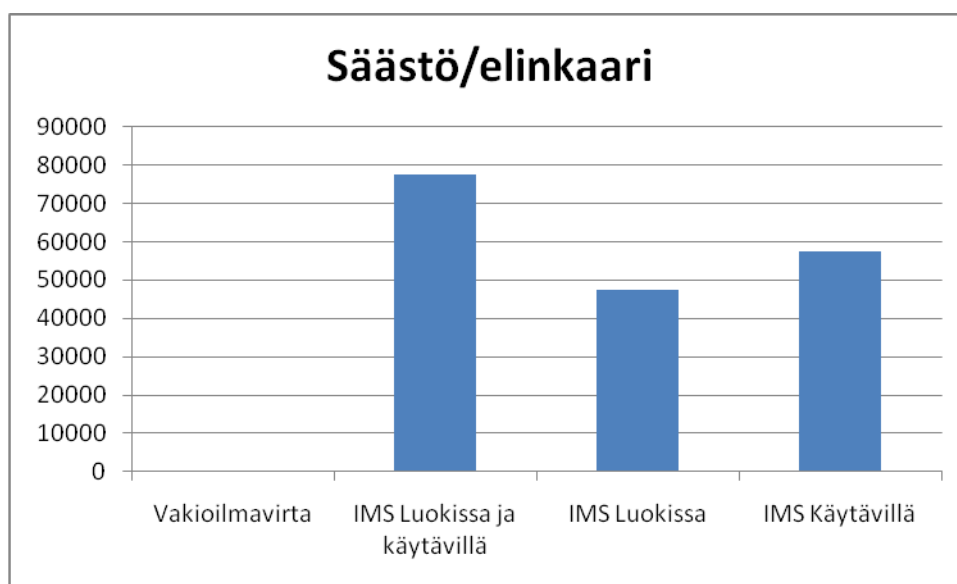
**KUVA 14. Järjestelmien energiakustannukset (€/ek)**

Kuvassa 14 on kuvattu eri järjestelmien energiakustannukset elinkaaren ajalta pinottuna pylväskaaviona. Päällimmäisenä on puhallinsähkön osuus, sen jälkeen ilmastointipatterien käyttämä kaukolämpö ja alimmaisena tilojen lämmityslaitteiden käyttämä kaukolämpö.

**TAULUKKO 16. Todellinen säästö elinkaaren aikana (€)**

Järjestelmä	Säästö $\Sigma L/ek$	Säästö $E_{puh}/ek$	Säästö energias- sa yht.	Urakointi- kustan- nukset	Huolto- kustan- nukset	Todelli- nen säästö
Vakioilmavirta	0	0	0	0	0	0
IMS Luokissa ja käytävillä	78494	26523	105017	-18995	-8604	<b>77418</b>
IMS Luokissa	42422	22467	64889	-11932	-5542	<b>47416</b>
IMS Käytävillä	42803	24807	67610	-6854	-3354	<b>57402</b>

Taulukon 16 arvot on verrattuna vakioilmavirtaiseen järjestelmään. Ensimmäisenä on tilojen ja ilmastointipatterien kaukolämmössä säästetyt kustannukset (laskelmassa käytetty keskihintaa) ja toisena puhallinsähkössä säästetyt kustannukset. Energiansäätöistä vähentämällä lisääntyneet urakointi- ja huoltokustannukset saadaan järjestelmien todellinen säästö.

**KUVA 15. Todellinen säästö elinkaaren aikana (€)**

Kuvasta 15 nähdään järjestelmien todellinen säästö elinkaaren aikana verrattuna vakioilmavirtaiseen järjestelmään. Ilmamääräsäätö luokissa ja käytävillä säästää eniten, noin 77000€ 25 vuoden elinkaaren aikana.

### 4.3 Hiilidioksidipäästöt

Työssä on myös arvioitu järjestelmävalinnan energiankulutuksen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä. Kuopion Energia tuotti vuonna 2008 yhteensä 392,6GWh sähköä ja 873,8GWh kaukolämpöä. Energiaa tuotettiin yhteensä 1266,7GWh, ja polttoaineita käytettiin 1535GWh, kokonaishyötysuhteeksi muodostuen 82,5 % [9].

**TAULUKKO 17. Kuopion energian energian yhteistuotannossa käyttämän polttoaineen ominaispäästökerroin ja osuus polttoaineesta**

Polttoaine	Turve	Öljy	Biop.
Ominaispäästökerroin $Pk_n$ (t <sub>CO2</sub> /MWh)	0,381	0,270	0,390
Osuus polttoaineesta (%)	88	10	2

[9;10]

#### Suhteellinen ominaispäästökerroin $Pk$ (t<sub>CO2</sub>/MWh)

$$Pk = \frac{Pk_{turve} * \%_{turve} + Pk_{öljy} * \%_{öljy} + Pk_{biop.} * \%_{biop.}}{\eta_{kokonais}} \quad (7)$$

$$Pk = \frac{0,381 \text{ t CO}_2/\text{MWh} * 0,88 + 0,27 \text{ t CO}_2/\text{MWh} * 0,1 + 0,39 \text{ t CO}_2/\text{MWh} * 0,02}{0,825}$$

$$Pk = 0,448 \text{ t CO}_2 / \text{MWh}$$

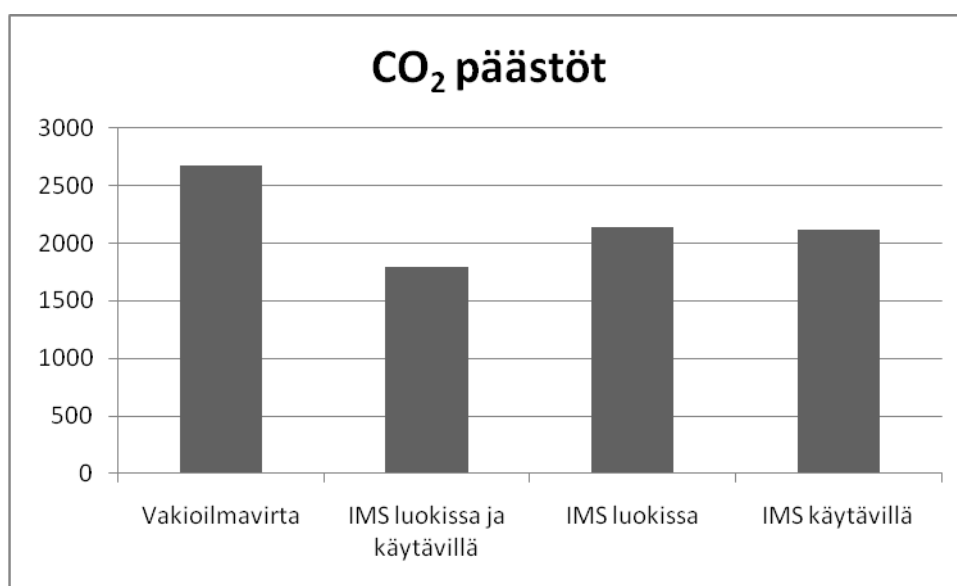
Kaavalla 7 on laskettu energian tuottamisen suhteellinen ominaispäästökerroin. Kaavassa on laskettu energian tuottamisessa käytettyjen polttoaineiden ominaispäästökerroimet kerrottuna polttoaineiden osuuksilla käytetystä polttoaineesta. Kaavassa on otettu huomioon laitoksen kokonaishyötysuhde. Polttoaineen koostumus on Kuopion energian 2008 energian yhteistuotannossa käyttämä. Ominaispäästökerroin kuvaa kuinka monta tonnia hiilidioksidia vapautuu kyseisen polttoaineen polttamisesta per MWh.

Kertomalla vuotuinen energiankulutus ominaishiilidioksidipäästöllä saadaan vuotuinen ja sitä kautta elinkaaren aikainen hiilidioksidipäästö. Seuraavassa on verrattu hiilidioksidipäästöjen eroja vakioilmavirtaiseen järjestelmään.

**TAULUKKO 18. Järjestelmien energiankulutuksen hiilidioksidipäästöt**

Järjestelmä	$\Sigma L + E_{\text{puh}}$ (MWh/a)	CO <sub>2</sub> päästöt (t/a)	CO <sub>2</sub> päästöt (t/ek)	CO <sub>2</sub> erotus, (t/ek)
Vakioilmavirta	238,7	107	2677	<b>0</b>
IMS Luokissa ja käytävillä	159,9	72	1793	<b>884</b>
IMS Luokissa	190,4	85	2135	<b>542</b>
IMS Käytävillä	189,1	85	2121	<b>556</b>

Taulukossa 18 nähdään eri järjestelmien tilojen ja ilmastoinnin lämmitys- ja puhallinenergioiden summa, jonka kertomalla käytetyn polttoaineen suhteellisella ominaispäästökertoimella saadaan järjestelmien käytön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Taulukossa on eritelty päästöt vuodessa sekä elinkaaren aikana, sekä verrattu erotusta vakioilmavirtaiseen järjestelmään.

**KUVA 16. Järjestelmien energiankulutuksen hiilidioksidipäästöt (t/ek)**

Kuvassa 16 on eri järjestelmien elinkaaren aikaisen energiankulutuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Suurimpana vakioilmavirtainen järjestelmä, jonka käyttö aiheuttaa 2700 tonnin hiilidioksidipäästöt elinkaaren aikana. Yksi hiilidioksiditonni maksoi Suomen päästökaupassa vuonna 2009 noin 40€ [11].

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Tässä osiossa on tarkasteltu simuloinnin sekä laskelmien avulla saatuja tuloksia. Tulosten tarkastelu on jaettu kolmeen osaan, simulointitulosten, elinkaarikustannuslaskelmien, sekä hiilidioksidipäästölaskelmien tarkasteluun.

### 5.1 Simulointi

Olosuhdesimuloinnissa huomattiin joidenkin tilojen sisälämpötilojen nousevan niiden käyttöajalla viihtyvyyden kannalta liian suuriksi. Olosuhdesimuloinnilla voitiin samalla selvittää, millaisilla ratkaisuilla ongelmatilojen sisälämpötilaa saadaan laskettua. Etelään päin olevissa luokkatiloissa riitti ikkunaratkaisuksi peruslasi sisäpuolisilla sälekaihtimilla, ja muilla seinustoilla riitti pelkkä peruslasi. Simuloinnilla saatujen tulosten perusteella ohjattiin arkkitehdin suunnittelua, eli joidenkin tilojen lämpökuormia kevennettiin ikkunoiden kokoja pienentämällä. Olosuhdesimuloinnilla pystyttiin myös varmistamaan huoneolosuhdetavoitteiden täyttyminen.

Eri järjestelmien aiheuttamat erot huoneolosuhteissa ovat pieniä. Muuttuvilmavirtaisten järjestelmien pienemmillä ilmamäärillä saavutetaan lähes samat lämpöolot kuin vakioilmavirtaisella. Tästä syystä ilmamääräsäädön käyttö on perusteltua. Johtuen rakennuksen tyypistä ja käyttöasteesta ei maksimi-ilmavirtaa tarvitse käyttää kuin noin 5 % ajasta. Keskimääräinen ilmavirta IMS luokissa ja käytävillä –järjestelmässä on noin 60 % maksimista järjestelmien käyttöajalla, ja muilla ilmamääräsäätöisillä järjestelmillä noin 80 %.

Energiasimuloinnissa huomiota herättävä tulos on, että valittaessa ilmamääräsäätö luokkiin sekä käytäviin säästetään ilmastoinnin lämmitysenergiassa 53 %. Tilojen lämmitystarpeen kasvaminen johtuu tuloilman 19 °C asetusarvosta, sillä lämmitys 21 °C:een tapahtuu lämpökuormien lisäksi tilojen lämmityslaitteilla. Ilmastoinnin lämmitystarpeen ja kulutetun puhallinsähkön pieneneminen johtuu yksinkertaisesti puhallettujen ilmamäärien pienenemisestä.

Sähköenergiassa järjestelmän oikealla valinnalla voidaan säästää 38 % puhallinsähköstä, jos valitaan ilmamääräsäätö sekä luokka-, että käytävätiloihin. Ilmamääräsäätö pelkästään luokissa tai käytävillä säästää noin 33 % puhallinsähköstä.

## **5.2 Elinkaarikustannukset**

Huolimatta ilmamääräsäätöisten järjestelmien suuremmista urakointi- ja huoltokustannuksista, ilmamääräsäätöinen järjestelmä säästää. Taulukon 10 perusteella ilmamääräsäätö luokissa ja käytävillä säästää ilmastointijärjestelmän energiankustannuksista noin 48 % prosenttia, josta saatava säästö korvaa suuremmat urakointi- ja huoltokustannukset noin kolminkertaisesti. Valitsemalla ilmamääräsäätö pelkästään luokkiin tai käytäviin säästetään noin 30 % ilmastointijärjestelmän energiakustannuksista.

Elinkaarikustannuksiin vaikuttaa suuresti energiakustannukset, joihin taas vaikuttaa kaukolämmön ja sähkön hinnan kehitys. On todennäköistä, että kaukolämmön sekä sähkön hinnat jatkavat kasvuaan polttoaineiden hinnan nousun mukana, ja niiden nousu voi olla jopa nopeampaa mitä aikaisemmin on esitetty. Tämä vain lisäisi säästöjä ilmamääräohjatuilla järjestelmillä.

## **5.3 Hiilidioksidipäästöt**

Valittaessa ilmavirtaohjaus luokka- ja käytävätiloihin elinkaaren aikana lämmitysenergian ja puhallinsähkön tuottamisesta vapautuu myös n. 900 tonnia vähemmän hiilidioksidia verrattuna vakioilmavirtaiseen järjestelmään, edellyttäen että energia tuotetaan nykyisillä menetelmillä. Päästökaupassa tämän hinta on noin 36000€, jos päästömaksut pysyvät ennallaan. Sama määrä hiilidioksidia vapautuu noin 380000 bensiinilitran polttamisesta.



## 6 POHDINTA

Huoneolosuhteiden ongelmista sekä järjestelmien energiankulutuksesta saatiin hyväksyttäviä tuloksia. Huoneolosuhteiden ongelmakohtia pystyttiin ennaltaehkäisemään, sekä laskelmien avulla erottamaan vaihtoehtoista edullisin ja vähäpäästöisin ilmastointijärjestelmä. Näin ollen työn tavoitteet täyttyivät.

Simuloinnin käyttö rakentamisessa on erittäin hyödyllistä. Simuloinnin avulla pystytään tutkimaan erilaisia ratkaisuja jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Vaikka simuloinnin tulokset eivät aina täysin vastaa todellisuutta, saadaan sen avulla hyödyllistä tietoa esimerkiksi tavoitteiden täyttymisestä, energiankulutuksesta ja ekologisuudesta. Tämän työvälineen avulla voidaan myös välttää useita potentiaalisia ongelmia, mikä taas on suoraa hyötyä monille osapuolille. Simulointimahdollisuuksien parantuessa simuloinnista tulee yhä korvaamattomampi osa rakentamista.

Tässä raportissa esitettyjen tulosten valossa on erittäin suositeltavaa panostaa ilmamääräsäätöiseen järjestelmään. Ilmamääräsäätö on edullisempi vaihtoehto niin energiansäästön, kustannusten kuin ympäristönkin kannalta. Ilmamääräsäätöisten järjestelmien investointi- ja huoltokustannusten erot jäävät 15..27 %:iin simuloimalla laske-  
tuista säästöistä.

## 7 LÄHTEET

1. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. PDF-dokumentti. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10440>. Päivitetty 18.5.2009. Luettu 10.1.2010.
2. Senaatti-kiinteistöt teki merkittävän päätöksen tuotemallintamisen käyttöönotosta. WWW-dokumentti. <http://www.senaatti.com/document.asp?siteID=1&docID=515>. Päivitetty 18.12.2006. Luettu 13.2.2010.
3. Kakkinen, Ari 2010. Sähköpostikeskustelu 18-19.2.2010. LVI-Asennuspäällikkö. Tekmanni Oy.
4. Rinkinen, Janne 2010. Haastattelu 19.2.2010. Rakennusautomaatiosuunnittelija. Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy.
5. Oravainen, Timo 2010. Haastattelu 22.2.2010. Osastopäällikkö. Insinööritoimisto Granlund Kuopio Oy.
6. Uudistuva kiinteistötyö, tekniset työt 1990. Helsinki: Valtion painatuskeskus
7. Tanner-Faarinen, Merja 2010. Sähköpostikeskustelu 26.2.2010. Asiantuntija, tilastot. Energiateollisuus Ry.
8. Sähkön hinnan kehitys 1.3.2010. Energiamarkkinavirasto. XLS-dokumentti. <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehitys1003.xls> Ei päivitystietoa. Luettu 6.4.2010.
9. Vuosikertomus 2008. Kuopion energia. PDF-dokumentti. [http://www.kuopionenergia.fi/filebank/990-KE\\_vuosikertomus\\_2008\\_WEB.pdf](http://www.kuopionenergia.fi/filebank/990-KE_vuosikertomus_2008_WEB.pdf). Päivitetty 2.4.2009. Luettu 18.2.2010.
10. Energiatilasto, Vuosikirja 2006. Helsinki: Tilastokeskus

11. Energiatilasto, EnergiaCD 2008. Helsinki: Tilastokeskus

## 8 KIRJALLISUUS

Heilä, Sampsa 2006. Suomi tuotemallintamisen kärjessä – Musiikkitalossa mitoitus-säästöjä. Verkkolehti. <http://www.talotekniikka-lehti.fi/www/fi/lehdet/talotekniikka/2006/032006.php>. Ei päivitystietoa. Luettu 10.3.2010.

Karstila, Kari & Serén, Kalle 2005. Tiedonsiirron käyttötapaus: Rakennussuunnittelu -> LVI-suunnittelu. PDF-dokumentti. <http://www.vtt.fi/rte/cmp/projects/proit/>. Päivitetty 4.5.2005. Luettu 15.1.2010.

Kunnas, Jouko 2006. Tuotemallinnuksen edelläkävijä Joensuusta. Verkkolehti. <http://www.projektiiuutiset.fi/fi/artikkelit/aurora-2-joensuun-yliopisto>. Ei päivitystietoa. Luettu 27.1.2010

Laine, Tuomas 2008. Tuotemallintaminen talotekniikkasuunnittelussa. Tampere: Tammer-Paino Oy.

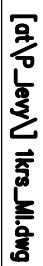
Model - Industry Foundation Classes (IFC) 2008. buildingSMART International Alliance. WWW-dokumentti. <http://www.buildingsmart.com/bim>. Päivitetty 18.12.2008. Luettu 25.1.2010.

Pulakka, Sakari, Heimonen, Ismo, Junnonen, Juha-Matti & Mika Vuolle 2007. Talotekniikan elinkaarikustannukset. PDF-dokumentti. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>. Päivitetty 9.10.2009. Luettu 15.2.2010.

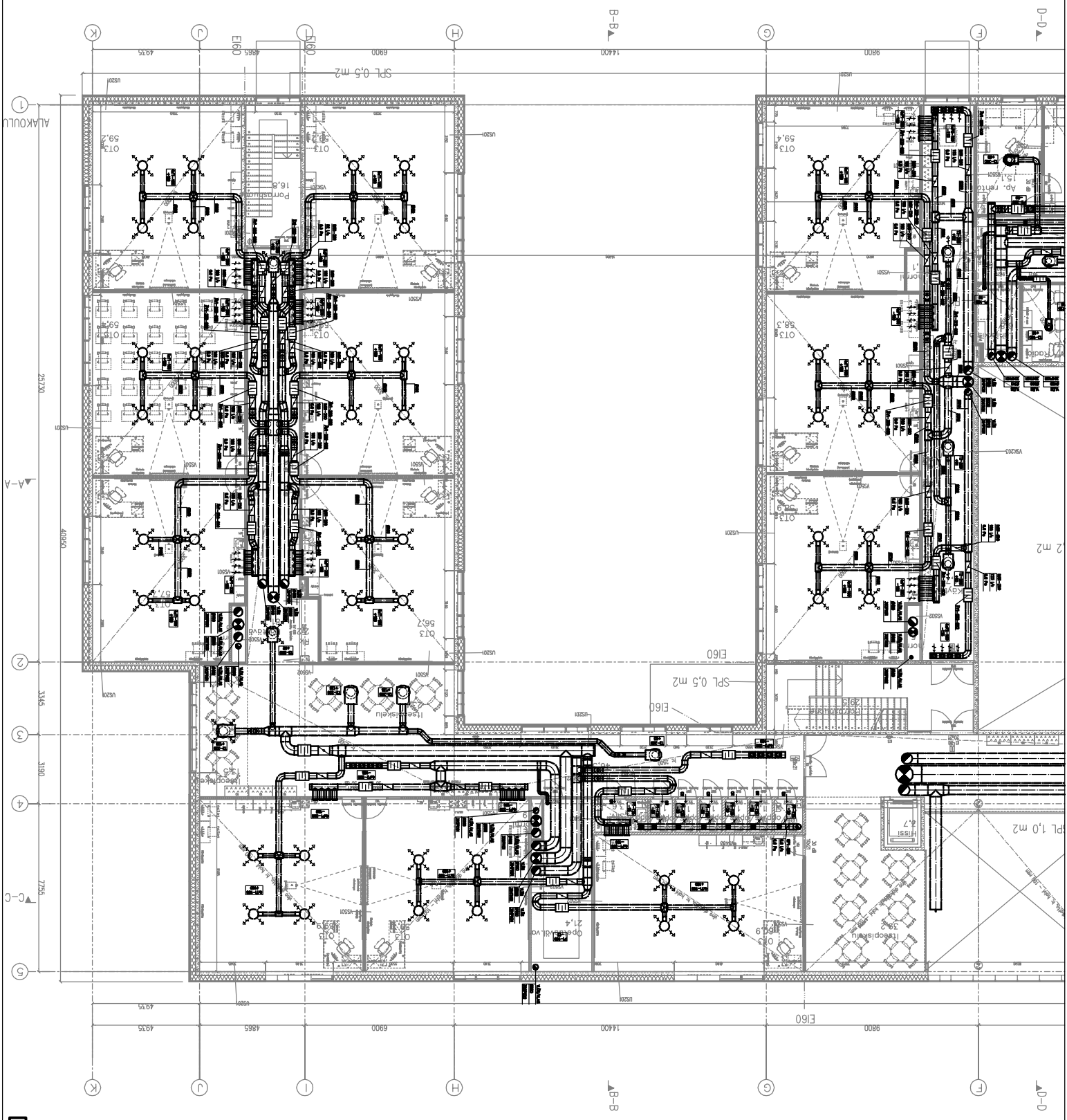
Sormunen, Piia 2008. Talotekniikka ja energiankulutus. PDF-dokumentti. [http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/opintojaksot/Talotekniikka%20ja%20energia\\_TENTTI.pdf](http://arkkitehtuuri.tkk.fi/oppituolit/ro/opintojaksot/Talotekniikka%20ja%20energia_TENTTI.pdf). Päivitetty 25.9.2008. Luettu 10.3.2010.

Shemeikka, Jari & Hietaniemi, Janne 2003. Motiwatti 2.0. PDF-dokumentti. [http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti\\_2.0\\_energiakatselmoijan\\_tyokalun\\_laskentaperiaatteet.pdf](http://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti_2.0_energiakatselmoijan_tyokalun_laskentaperiaatteet.pdf). Päivitetty 16.3.2004. Luettu 15.2.2010.

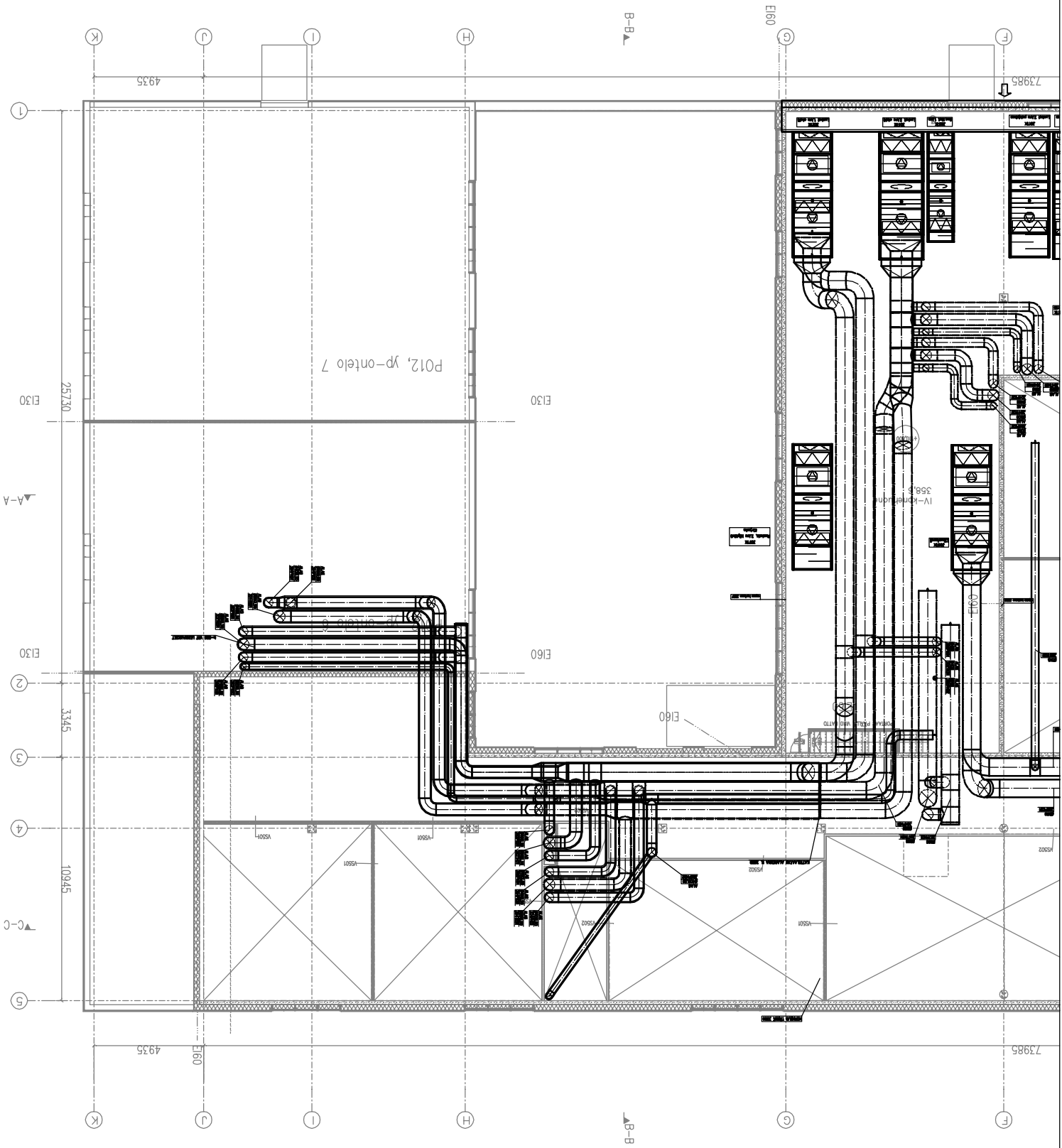
**9 LIITTEET**



=250, [09.04.2010, 12:46]



[ot\p\_jery\] 2krs\_Ml.dwg



1

Asiakirja n:o

## Projekti n:o

$P_{vm}$ .

9.4.2010 Ali

1) Tilan maksimiämpötila IV:n käyttöajalla mitoituspäivänä

2) Tuloliman tuntuva jäädyttävä vaikutus mitoituksena. Ei huomioi mahdollista

kosteudenpoistoa ilmastointikoneen jäähdytyspatterissa.

Keros	Tila	Tunnus	Nimi	Pinta-ala m²	Tilavuus m³	1)						2)						Lämpöohäviö W	Vuoto l/h	Ihmiset		Valaistus		Lattheet						
						Asetusarvo		Tavoitearvo		Sim.	Ilmavirta		Tulolima		Tuloinman jäähdyt. vaikutus W/m²	Lisä- jäähdytys W/m²	Kokonais- jäähdytys W/m²			hio l/m²	W	W	W	W						
						min °C	max °C	min °C	max °C		min dm³/s, m³	max dm³/s	min °C	max °C											W	W	W	W		
106500	2038		AP.REHTORI	16,2	50,4	21,0	23,0	21,0	27,0	27,5	2,0	2,0	32	17,0	19,0	18,4	298	0,0	0	18,4	298	26,3	426	0,150	0,10	121	12,0	194	15,0	242
106500	2036		ARKISTO	7,1	22,1	21,0	23,0	21,0	27,0	21,1	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,5	53	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2029		AULA	40,0	124,7	21,0	23,0	21,0	26,0	21,0	1,4	4,1	162	17,0	19,0	5,2	209	0,0	0	5,2	209	7,5	301	0,050	0,00	0	10,0	400	0,0	0
106500	2009		HORMI1	1,7	5,4	21,0	23,0	21,0	26,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,5	13	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2021		HORMI2	1,0	3,0	21,0	23,0	21,0	26,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,5	7	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2027		HORMI3	1,5	4,8	21,0	23,0	21,0	26,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,5	12	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2028		HORMI4	1,1	3,4	21,0	23,0	21,0	26,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,5	8	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2041		HORMI5	1,0	3,1	21,0	23,0	21,0	26,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,5	7	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2040		KANSLIA	15,2	47,5	21,0	23,0	21,0	26,0	33,8	2,0	2,0	30	17,0	19,0	34,6	526	0,0	0	34,6	526	34,6	526	0,150	0,10	114	15,0	228	15,0	228
106500	2031		KEITTO	8,7	27,1	21,0	23,0	21,0	29,0		15,0	15,0	130								7,5	65	0,050	0,30	196	15,0	130	20,0	174	
106500	2007		KATYVA	164,1	515,2	21,0	23,0	21,0	27,0	23,0	1,3	4,0	657	17,0	19,0	11,4	1869	0,0	0	11,4	1869	27,7	4549	0,150	0,00	0	6,0	984	0,0	0
106500	2026		KATYVA	60,6	189,2	21,0	23,0	21,0	27,0	21,0	1,4	4,0	245	17,0	19,0	5,2	318	0,0	0	5,2	318	14,9	902	0,150	0,00	0	6,0	364	0,0	0
106500	2037		NEUVOTTELU	15,9	49,7	21,0	23,0	21,0	27,0	27,3	2,0	6,0	96	17,0	19,0	46,7	744	0,0	0	46,7	744	34,0	541	0,150	0,30	358	12,0	191	20,0	319
106500	2030		OPETTAJIEN	86,8	270,9	21,0	23,0	21,0	27,0	23,8	1,7	5,0	434	17,0	19,0	17,5	1524	0,0	0	17,5	1524	20,9	1814	0,150	0,30	1954	12,0	1042	0,0	0
106500	2012		OPESTUSVÄLÄ	21,3	66,9	21,0	23,0	21,0	29,0	21,7	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	16,9	360	0,150	0,00	0	6,0	128	0,0	0
106500	2000		OT1	59,5	186,7	21,0	23,0	21,0	27,0	24,7	1,0	3,0	180	17,0	19,0	16,3	968	0,0	0	16,3	968	28,4	1687	0,150	0,50	2230	9,5	565	12,0	714
106500	2023		OT10	59,1	184,4	21,0	23,0	21,0	27,0	27,4	1,0	3,0	180	17,0	19,0	30,2	1787	0,0	0	30,2	1787	26,5	1569	0,150	0,50	2216	9,5	561	12,0	709
106500	2024		OT11	58,4	182,3	21,0	23,0	21,0	27,0	26,4	1,0	3,1	180	17,0	19,0	26,5	1548	0,0	0	26,5	1548	23,1	1349	0,150	0,50	2191	9,5	555	12,0	701
106500	2025		OT12	59,7	186,3	21,0	23,0	21,0	27,0	27,0	1,0	3,0	180	17,0	19,0	28,8	1722	0,0	0	28,8	1722	28,5	1700	0,150	0,50	2240	9,5	567	12,0	717
106500	2001		OT2	59,4	186,5	21,0	23,0	21,0	27,0	26,1	1,0	3,0	180	17,0	19,0	25,3	1504	0,0	0	25,3	1504	28,4	1571	0,150	0,50	2227	9,5	564	12,0	713
106500	2002		OT3	59,8	187,7	21,0	23,0	21,0	27,0	24,8	1,0	3,0	180	17,0	19,0	15,7	937	0,0	0	15,7	937	23,1	1378	0,150	0,50	2242	9,5	568	12,0	717
106500	2003		OT4	59,6	187,2	21,0	23,0	21,0	27,0	27,5	1,0	3,0	180	17,0	19,0	30,0	1787	0,0	0	30,0	1787	26,1	1554	0,150	0,50	2236	9,5	566	12,0	715
106500	2004		OT5	56,9	178,7	21,0	23,0	21,0	27,0	24,7	1,1	3,2	180	17,0	19,0	16,1	916	0,0	0	16,1	916	23,9	1360	0,150	0,50	2134	9,5	541	12,0	683
106500	2005		OT6	57,8	181,4	21,0	23,0	21,0	27,0	26,1	1,0	3,1	180	17,0	19,0	26,0	1504	0,0	0	26,0	1504	25,6	1481	0,150	0,50	2167	9,5	549	12,0	693
106500	2010		OT7	60,0	188,4	21,0	23,0	21,0	27,0	25,5	1,0	3,0	180	17,0	19,0	22,2	1330	0,0	0	22,2	1330	26,3	1579	0,150	0,50	2249	9,5	570	12,0	720
106500	2011		OT8	60,0	188,5	21,0	23,0	21,0	27,0	25,8	1,0	3,0	180	17,0	19,0	22,5	1352	0,0	0	22,5	1352	23,6	1420	0,150	0,50	2251	9,5	570	12,0	720
106500	2013		OT9	60,7	190,5	21,0	23,0	21,0	27,0	26,4	1,0	3,0	180	17,0	19,0	24,8	1504	0,0	0	24,8	1504	25,3	1537	0,150	0,50	2275	9,5	576	12,0	728
106500	2022		PORRASH.	29,7	92,6	21,0	23,0	21,0	29,0	22,3	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	16,1	477	0,150	0,00	0	8,0	237	0,0	0
106500	2006		PORRASH.	16,3	51,2	21,0	23,0	21,0	29,0	52,2	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	32,0	522	0,150	0,00	0	8,0	131	0,0	0
106500	2039		REHTORI	17,4	54,4	21,0	23,0	21,0	27,0	32,0	2,0	2,0	35	17,0	19,0	29,6	517	0,0	0	29,6	517	32,4	565	0,150	0,10	131	12,0	209	15,0	262
106500	2008		RK1	2,4	7,5	18,0	23,0	18,0	30,0	19,8	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	7,1	17	0,050	0,00	0	0,0	0	0,0	0
106500	2020		SIVOUS	3,8	11,8	21,0	23,0	21,0	29,0		4,0	4,0	15								7,5	28	0,050	0,00	0	6,0	23	0,0	0	



Kerros	Tila	Nimi	Pinta-ala m²	Tilavuus m³	1)						2)					
					Asetusarvo		Tavoitearvo		Sim. max °C	Ilmavirta			Tuloilma		Tuloiiman jäähd. vaikutus W	Lisä- jäähdytys W
					min °C	max °C	min °C	max °C		min dm³/s, m²	max dm³/s	min °C	max °C	W/m²		
106500	2032	SILVOUS	4,4	13,6	21,0	23,0	21,0	29,0		4,0	4,0	17				
106500	2035	TV/RADIO	8,7	27,1	21,0	23,0	21,0	26,0	23,0	2,1	2,1	18	17,0	19,0	9,3	81
106500	2034	WC OPET 2	7,4	23,0	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	11				0,0
106500	2033	WC OPET1	8,8	27,5	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	13				
106500	2014	WC/OPP1	2,0	6,2	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	3				
106500	2015	WC/OPP2	1,6	4,9	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	2				
106500	2016	WC/OPP3	1,6	4,9	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	2				
106500	2017	WC/OPP4	1,6	4,9	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	2				
106500	2018	WC/OPP5	1,6	4,9	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	2				
106500	2019	WC/OPP6	1,6	4,9	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	2				
103000	1023	AULA/KAYTAI	125,9	392,7	21,0	23,0	21,0	26,0	22,3	1,3	4,0	504	17,0	19,0	5,2	651
103000	1017	ILTAPAIVAKEI	31,6	98,6	21,0	23,0	21,0	27,0	26,0	1,3	4,0	126	17,0	19,0	34,8	1099
103000	1033	KOTTALOUS/	127,6	398,1	21,0	23,0	21,0	27,0	24,3	1,0	3,0	384	17,0	19,0	16,4	2099
103000	1035	KOTTALOUS/	13,6	42,3	21,0	23,0	21,0	27,0	23,0	1,6	4,8	65	17,0	19,0	13,3	180
103000	1036	KOTTALOUS/	3,8	11,9	22,0	23,0	22,0	29,0	25,5	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1037	KOTTALOUS/	1,4	4,5	22,0	23,0	22,0	29,0		5,0	5,0	7				
103000	1034	KOTTALOUS/	4,1	12,8	21,0	23,0	21,0	29,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1038	KOTTALOUS/	1,6	5,0	21,0	23,0	21,0	29,0		1,5	1,5	2				
103000	1050	KAYTAVA	53,0	165,3	21,0	23,0	21,0	27,0	21,0	1,3	4,0	213	17,0	19,0	5,2	275
103000	1012	KAYTAVA/PUH	62,5	195,1	21,0	23,0	21,0	27,0	21,0	1,3	4,0	252	17,0	19,0	5,2	326
103000	1006	LEPOU/AKOH-	24,9	77,8	21,0	23,0	21,0	27,0	21,8	5,1	5,1	126	17,0	19,0	22,7	565
103000	1006	LEPOU/AKOH+	22,6	70,5	21,0	23,0	21,0	27,0	25,1	5,0	5,0	114	17,0	19,0	38,5	870
103000	1027	LEPOH-	6,5	20,2	21,0	23,0	21,0	27,0	21,3	5,3	5,3	34	17,0	19,0	23,5	152
103000	1028	LJH	12,7	39,6	18,0	23,0	18,0	30,0		1,0	1,0	13				
103000	1030	LAAKARI	17,1	53,4	21,0	23,0	21,0	27,0	<b>27,4</b>	2,0	2,0	35	17,0	19,0	23,8	407
103000	1048	MUSIIKKI	91,9	286,8	21,0	23,0	21,0	27,0	25,9	1,0	3,0	276	17,0	19,0	25,1	2306
103000	1047	MUSIIKKI VAR	20,1	62,8	21,0	23,0	21,0	29,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1008	MÄRKÄETIEN	11,3	35,1	18,0	23,0	18,0	29,0	19,2	5,0	5,0	56	17,0	19,0	4,2	47
103000	1024	ODOTUS	17,1	53,4	21,0	23,0	21,0	27,0	21,5	3,0	3,0	51	17,0	19,0	13,4	229
103000	1025	ODOTUS/VAR	2,3	7,3	21,0	23,0	21,0	29,0	21,7	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1000	OT01	59,6	185,9	21,0	23,0	21,0	27,0	24,1	1,0	3,0	180	17,0	19,0	14,0	836
103000	1001	OT02	59,4	185,4	21,0	23,0	21,0	27,0	26,1	1,0	3,0	180	17,0	19,0	26,8	1591
103000	1016	OT03/ERITYIS	25,2	78,6	21,0	23,0	21,0	27,0	25,0	1,0	3,0	76	17,0	19,0	20,1	506
103000	1004	PORRASH-	16,3	50,9	21,0	23,0	21,0	29,0	24,2	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1044	PORRASH-	29,8	92,9	21,0	23,0	21,0	29,0	23,2	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1011	RK1	0,5	1,7	18,0	23,0	18,0	30,0	18,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1021	RK2	1,6	4,8	18,0	23,0	18,0	30,0	18,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1045	SILVOUS	22,0	68,7	21,0	23,0	21,0	29,0	21,0	3,1	3,1	69	17,0	19,0	14,0	309
103000	1014	SILVOUSK-	2,8	8,7	21,0	23,0	21,0	29,0		4,0	4,0	11				
103000	1046	SPK+TELE	16,4	51,1	18,0	23,0	18,0	30,0	18,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1009	TALOUVARAST	19,4	60,4	21,0	23,0	21,0	29,0	21,0	0,0	0,0	0	17,0	19,0	0,0	0
103000	1029	TERV.HOITAJ	16,8	52,6	21,0	23,0	21,0	27,0	<b>27,5</b>	2,0	2,0	34	17,0	19,0	24,0	404

Kerros	Tila	Nimi	Pinta-ala m²	Tilavuus m³	1)										2)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					Asetusarvo		Tavoitearvo		Sim. max °C	Ilmavirta			Tulolima		Tuloiman jäähd. vaikutus W/m²	Lisä- jäähdytys W/m²	Kokonais- jäähdytys W/m²		Lämpöteho W	Vuoto l/h	Ihmiset hio /m²	Valaistus W/m²	Lattiet W/m²																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
					min °C	max °C	min °C	max °C		min dm³/s	max dm³/s	min °C	max °C	min W			max W	min W						max W	min W	max W	min W	max W																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
mm	Tunnus																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														</



### LIITE 3 OLOSUHDESIMULOINTI LÄMPÖTILAT JA -KUORMAT

#### PUIJONSARVEN KOULU

Kuopion kaupungin elinkaarihanke  
Keski-Kaari 44  
70420 KUOPIO

Asiakirja n:o

Projekti n:o K01834.P002

Pvm. Laatija/Tark.

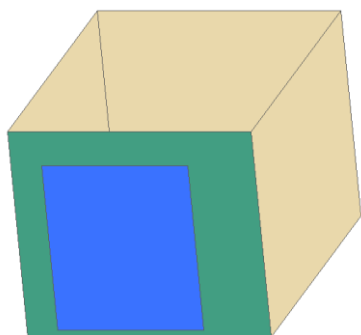
Viim. muutos

Laadittu 04.03.2010 ALi

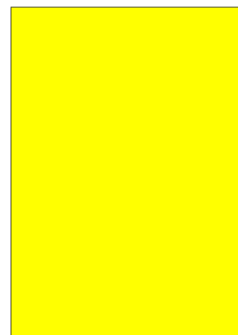
Tila: 2039 REHTORI

Pinta-ala: 17,4 m<sup>2</sup> Tilavuus: 54,4 m<sup>3</sup>

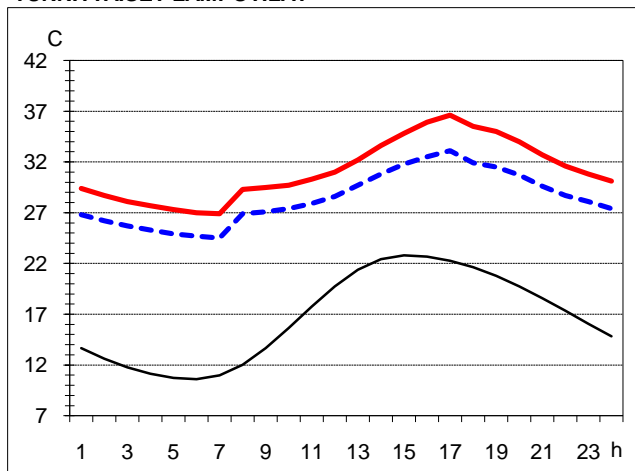
#### SIMULOITU TILA



Kerros 106500 mm



#### TUNNITTAISET LÄMPÖTILAT



##### Simulointi 1

Rehtori (ilman sälekaihtimia)

Ilmavirta: 2,0 dm<sup>3</sup>/s, m<sup>2</sup> (35 dm<sup>3</sup>/s)

Tilan lisäjäähdysteho: 0,0 W/m<sup>2</sup> (0 W)

##### Simulointi 2

Rehtori (sälekaihtimilla)

Ilmavirta: 2,0 dm<sup>3</sup>/s, m<sup>2</sup> (35 dm<sup>3</sup>/s)

Tilan lisäjäähdysteho: 0,0 W/m<sup>2</sup> (0 W)

##### Ulkolämpötila:

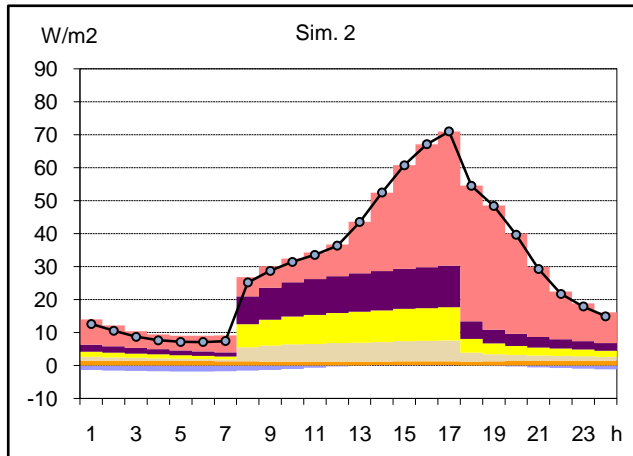
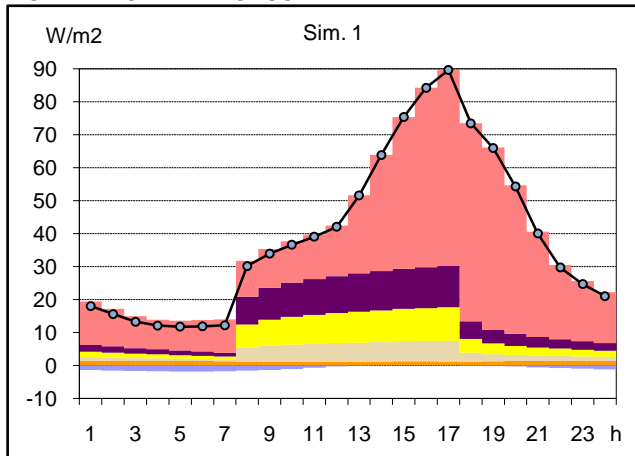
Kesän mitoitussää 13.06., keskiviikko

Max. / min. ulkolämpötila +22,8 / +10,6 °C

Suomi, Kuopio, lev. 62,54°, pit. 27,39°

Tilan keskimääräinen lämpötila jäähdytyksen mitoituspäivänä

#### TUNNITTAISET LÄMPÖKUORMAT



-○- Kokonaiskuorma    Ikkunat    Laitteet    Valaistus    Ihmiset    Johtuminen (ilman ikkunoita)    Vuotoilma

Tila: 2039 REHTORI

## LÄHTÖTIEDOT

## Simulointi 1

## Simulointi 2

## SISÄILMAN LAATUTASO

Tilan lämpötila, max. / asetusarvo	[°C]	27,0 / 23,0	27,0 / 23,0
Tilan lämpötila, min. / asetusarvo	[°C]	21,0 / 21,0	21,0 / 21,0

## ILMANVAIHTO

Järjestelmä		CAV	CAV
Ilmavirta	[dm³/s,m²]	2,0	2,0
Lämpötila-asetus talvi / kesä	[°C]	19 / 17	19 / 17
Jäähdytyspatteri (on / ei)		ei	ei
Aikataulu		7 - 21	7 - 21
Yötuuletus (T) / Yöjäähdytys (J)		21 - 7 (T)	21 - 7 (T)
Lämpötilakerrostuma	[°C/m]	0,00	0,00
Vuotoilmakerroin	[1/h]	0,160	0,160

## SISÄISET KUORMAT

Ihmiset	lukumäärä, max		1,74	1,74
	vaatetus		Normaali työasu	Normaali työasu
	työn tehotaso	[Met]	1,2	1,2
	kuorma (25 °C:ssa)	[W/hlö]	75,0	75,0
	aikataulu		7 - 17	7 - 17
Valaistus	kuorma, max	[W/m²]	12,0	12,0
	aikataulu		7 - 17	7 - 17
Laitteet	kuorma, max	[W/m²]	15,0	15,0
	aikataulu		7 - 17	7 - 17

## RAKENTEET

Ulkoseinä	rakenne / U-arvo	[W/m²,°C]	US 01/0,18	US 01/0,18
Yläpohja	rakenne / U-arvo	[W/m²,°C]	YP 01/0,09	YP 01/0,09
Alapohja	rakenne / U-arvo	[W/m²,°C]	-	-
Rakenteiden tehollinen massa	[kg/lattia-m²]		389	390

## IKKUNAT ULKOSEINISSÄ JA KATOISSA

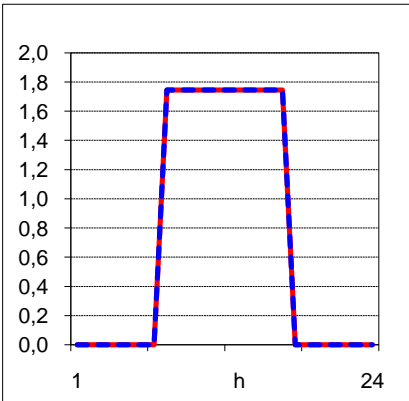
Auringonsäteilyn kokonaisläpäisy	[%]	45,4	45,4
U-arvo (lasiosa)	[W/m²,°C]	1,04	1,04
Lasiosan ala ja suuntaus	[m²]	4,7 (LÄN)	4,7 (LÄN)
Rakenne		1xClear + 2xFenestra Super 88, 6+6	1xClear + 2xFenestra Super 88, 6+6+6r
Suojaus		-	Sälekaihtimet

## HUONEYKSIKÖT

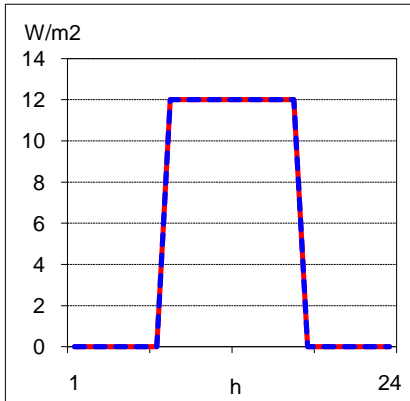
Jäähdytysteho (ei sis. ilmanvaihtoa)	[W/m²]	0,0	0,0
--------------------------------------	--------	-----	-----

## SISÄISTEN KUORMIEN AIKATAULUT

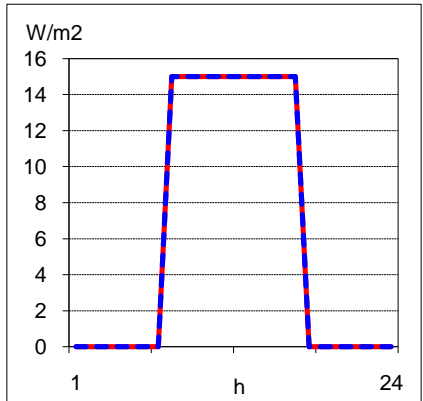
Henkilöiden lkm.



Valaistus

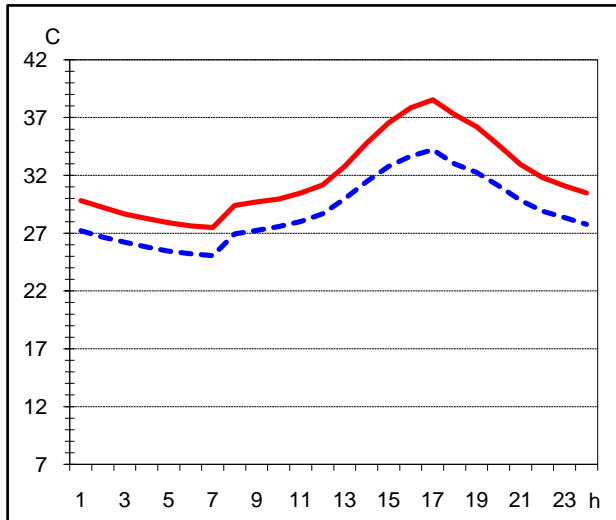


Laitteet

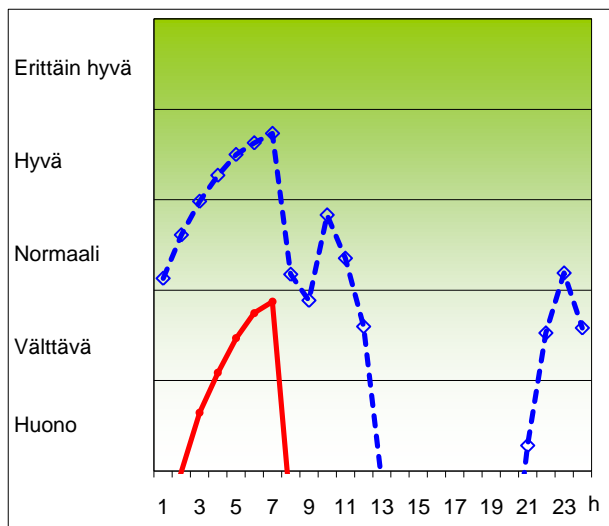


Tila: 2039 REHTORI

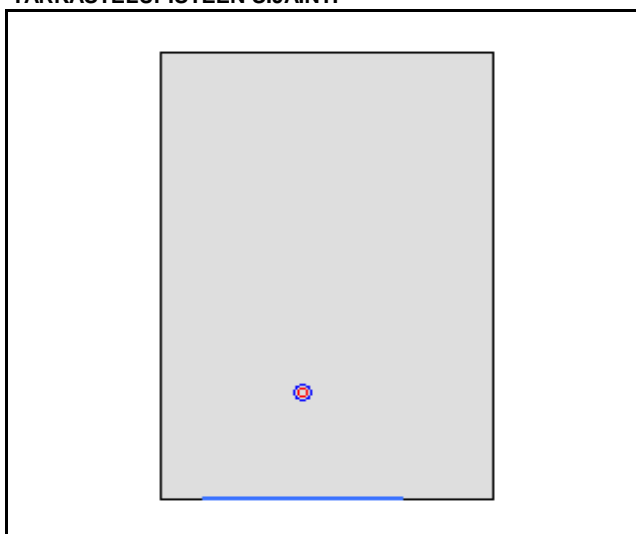
## OPERATIIVINEN LÄMPÖTILA



## VIIHTYISYYS



## TARKASTELUPISTEEN SIJAINTI



## KÄSITTEITÄ

**Operatiivinen lämpötila:**

Operatiivinen lämpötila kuvaa ihmisen lämpötuntemusta paremmin kuin sisälämpötila huomioimalla myös lämpöä säteilevät pinnat.

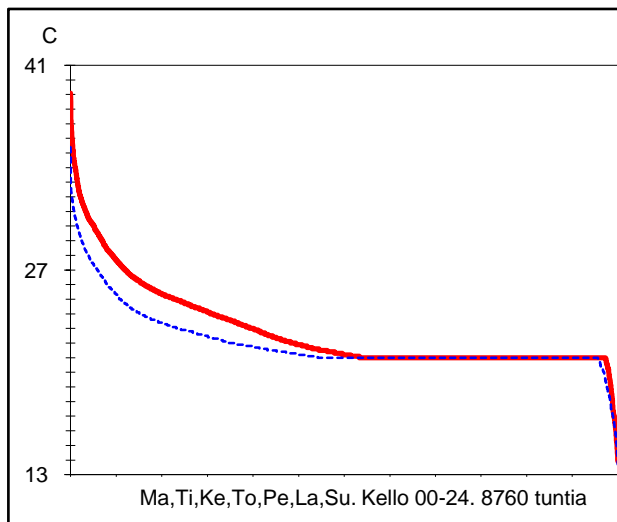
**Viihtyisyysindeksi PPD:**

Viihtyisyysindeksi PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) kuvaa ilmanvaihdon käyttöaikana olosuhteisiin tyytymättömien osuutta.

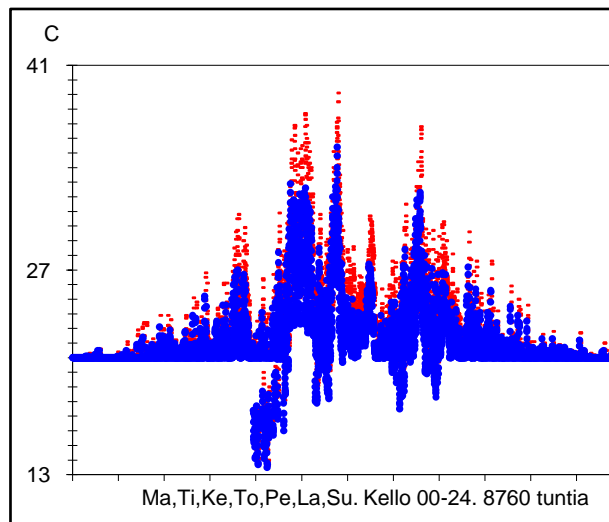
Viihtyisyysindeksi ja operatiivinen lämpötila on laskettu kuvan osoittamassa pisteessä.

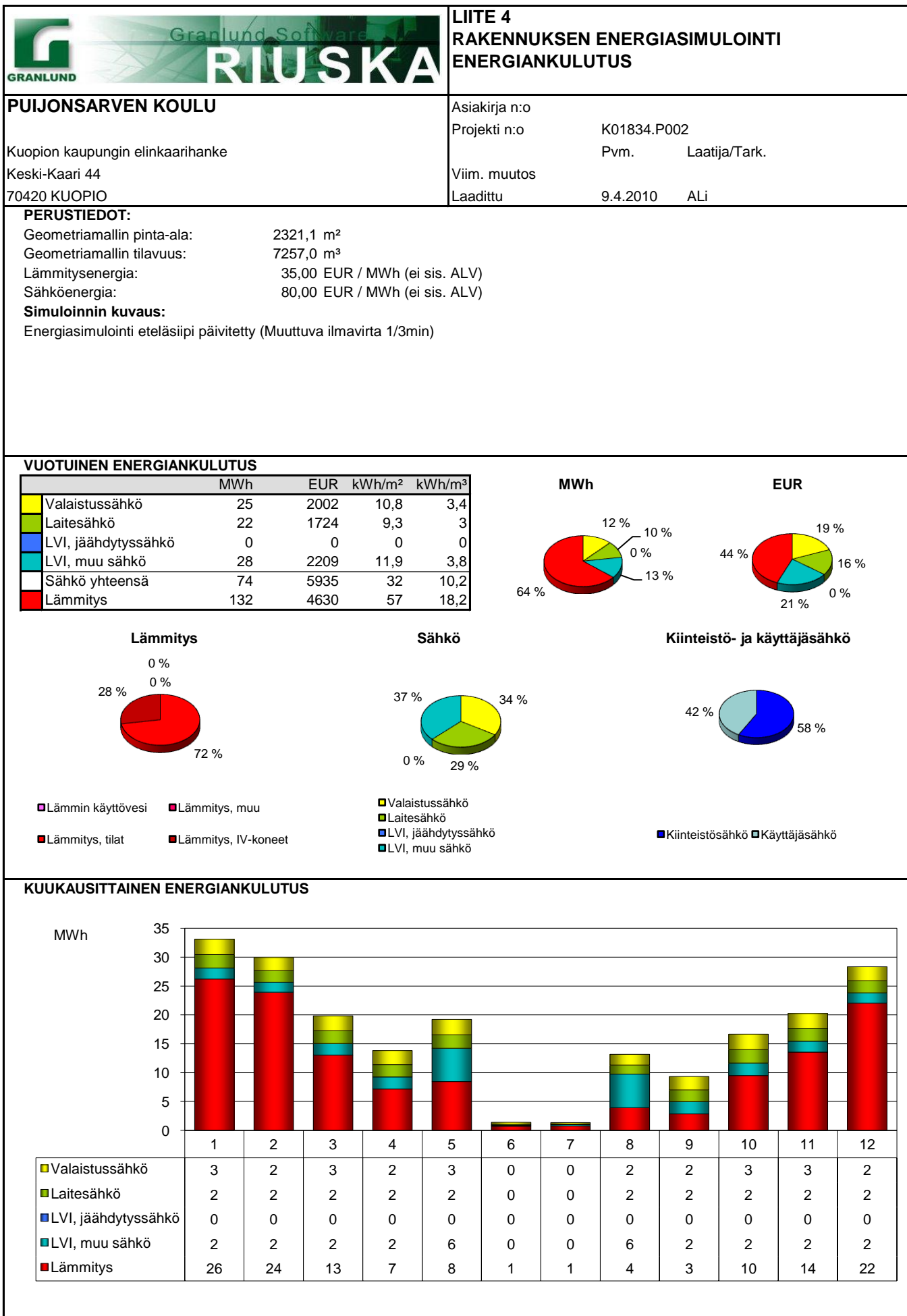
Pisteen korkeusasema lattiatasosta = 0,6 m

## SISÄLÄMPÖTILAN VUOTUINEN PYSYVYYS



## SISÄLÄMPÖTILAN VUOTUINEN VAIHTELU





Kaukolämmön hinta (EUR/MWh)							Energiankulutus (MWh/a)				Energiakustannukset keskim. (EUR/a)				Energiakuu		
Vuosi	Keskihinta	Min	Max	vakio	luo&käy	luokat	käytävät	vakio	luo&käy	luokat	käytävät	vakio					
1	2011	47,32	37,11	73,11	116,3	95,8	105,2	101,2	5504	4534	4979	4789	4316				
2	2012	48,32	37,87	74,44	116,3	95,8	105,2	101,2	5619	4629	5083	4890	4404				
3	2013	49,31	38,63	75,77	116,3	95,8	105,2	101,2	5734	4724	5187	4990	4492				
4	2014	50,30	39,39	77,10	116,3	95,8	105,2	101,2	5850	4819	5291	5090	4581				
5	2015	51,29	40,14	78,43	116,3	95,8	105,2	101,2	5965	4914	5396	5191	4669				
6	2016	52,28	40,90	79,76	116,3	95,8	105,2	101,2	6080	5009	5500	5291	4757				
7	2017	53,27	41,66	81,09	116,3	95,8	105,2	101,2	6196	5103	5604	5391	4845				
8	2018	54,26	42,42	82,42	116,3	95,8	105,2	101,2	6311	5198	5709	5491	4933				
9	2019	55,25	43,18	83,75	116,3	95,8	105,2	101,2	6426	5293	5813	5592	5021				
0	2020	56,25	43,94	85,08	116,3	95,8	105,2	101,2	6541	5388	5917	5692	5110				
1	2021	57,24	44,69	86,41	116,3	95,8	105,2	101,2	6657	5483	6021	5792	5198				
2	2022	58,23	45,45	87,74	116,3	95,8	105,2	101,2	6772	5578	6126	5893	5286				
3	2023	59,22	46,21	89,07	116,3	95,8	105,2	101,2	6887	5673	6230	5993	5374				
4	2024	60,21	46,97	90,40	116,3	95,8	105,2	101,2	7003	5768	6334	6093	5462				
5	2025	61,20	47,73	91,73	116,3	95,8	105,2	101,2	7118	5863	6438	6194	5551				
6	2026	62,19	48,48	93,06	116,3	95,8	105,2	101,2	7233	5958	6543	6294	5639				
7	2027	63,18	49,24	94,39	116,3	95,8	105,2	101,2	7348	6053	6647	6394	5727				
8	2028	64,18	50,00	95,72	116,3	95,8	105,2	101,2	7464	6148	6751	6495	5815				
9	2029	65,17	50,76	97,05	116,3	95,8	105,2	101,2	7579	6243	6856	6595	5903				
0	2030	66,16	51,52	98,38	116,3	95,8	105,2	101,2	7694	6338	6960	6695	5991				
1	2031	67,15	52,27	99,71	116,3	95,8	105,2	101,2	7810	6433	7064	6796	6080				
2	2032	68,14	53,03	101,04	116,3	95,8	105,2	101,2	7925	6528	7168	6896	6168				
3	2033	69,13	53,79	102,37	116,3	95,8	105,2	101,2	8040	6623	7273	6996	6256				
4	2034	70,12	54,55	103,70	116,3	95,8	105,2	101,2	8155	6718	7377	7096	6344				
5	2035	71,11	55,31	105,03	116,3	95,8	105,2	101,2	8271	6813	7481	7197	6432				
Summa (EUR/ek)								147715						121678	133617	128536	115322
Erotus vakioilmavirtaiseen (EUR/ek)								0						26038	14098	19179	0

stannukset min. (EUR/a)				Energiakustannukset max. (EUR/a)			
luo&käy	luokat	käytävät	vakio	luo&käy	luokat	käytävät	
3555	3904	3756	8503	7004	7691	7399	
3628	3984	3832	8657	7131	7831	7533	
3701	4064	3909	8812	7259	7971	7668	
3773	4143	3986	8967	7386	8111	7803	
3846	4223	4063	9121	7514	8251	7937	
3918	4303	4139	9276	7641	8391	8072	
3991	4383	4216	9431	7768	8531	8206	
4064	4462	4293	9585	7896	8671	8341	
4136	4542	4370	9740	8023	8810	8475	
4209	4622	4446	9895	8151	8950	8610	
4282	4702	4523	10049	8278	9090	8745	
4354	4781	4600	10204	8405	9230	8879	
4427	4861	4676	10359	8533	9370	9014	
4500	4941	4753	10513	8660	9510	9148	
4572	5021	4830	10668	8788	9650	9283	
4645	5101	4907	10823	8915	9790	9417	
4717	5180	4983	10977	9042	9930	9552	
4790	5260	5060	11132	9170	10069	9687	
4863	5340	5137	11287	9297	10209	9821	
4935	5420	5213	11441	9424	10349	9956	
5008	5499	5290	11596	9552	10489	10090	
5081	5579	5367	11750	9679	10629	10225	
5153	5659	5444	11905	9807	10769	10359	
5226	5739	5520	12060	9934	10909	10494	
5298	5818	5597	12214	10061	11049	10629	
94994	104315	100349	222786	183516	201523	193860	
20328	11007	14973	0	39270	21263	28926	



Puhallinsähkön hinta (EUR/MWh)						Energiankulutus (MWh/a)				Energiakustannukset (EUR/a)			
Keskihinta	Min	Max	vakio	luo&käy	luokat	käytävät	vakio	luo&käy	luokat	käytävät			
62,44	37,11	73,11	44,6	27,6	30,2	28,7	2785	1723	1886	1792			
63,25	37,87	74,44	44,6	27,6	30,2	28,7	2821	1746	1910	1815			
64,06	38,63	75,77	44,6	27,6	30,2	28,7	2857	1768	1935	1838			
64,86	39,39	77,10	44,6	27,6	30,2	28,7	2893	1790	1959	1862			
65,67	40,14	78,43	44,6	27,6	30,2	28,7	2929	1813	1983	1885			
66,48	40,90	79,76	44,6	27,6	30,2	28,7	2965	1835	2008	1908			
67,29	41,66	81,09	44,6	27,6	30,2	28,7	3001	1857	2032	1931			
68,09	42,42	82,42	44,6	27,6	30,2	28,7	3037	1879	2056	1954			
68,90	43,18	83,75	44,6	27,6	30,2	28,7	3073	1902	2081	1977			
69,71	43,94	85,08	44,6	27,6	30,2	28,7	3109	1924	2105	2001			
70,51	44,69	86,41	44,6	27,6	30,2	28,7	3145	1946	2130	2024			
71,32	45,45	87,74	44,6	27,6	30,2	28,7	3181	1968	2154	2047			
72,13	46,21	89,07	44,6	27,6	30,2	28,7	3217	1991	2178	2070			
72,94	46,97	90,40	44,6	27,6	30,2	28,7	3253	2013	2203	2093			
73,74	47,73	91,73	44,6	27,6	30,2	28,7	3289	2035	2227	2116			
74,55	48,48	93,06	44,6	27,6	30,2	28,7	3325	2058	2251	2140			
75,36	49,24	94,39	44,6	27,6	30,2	28,7	3361	2080	2276	2163			
76,16	50,00	95,72	44,6	27,6	30,2	28,7	3397	2102	2300	2186			
76,97	50,76	97,05	44,6	27,6	30,2	28,7	3433	2124	2325	2209			
77,78	51,52	98,38	44,6	27,6	30,2	28,7	3469	2147	2349	2232			
78,59	52,27	99,71	44,6	27,6	30,2	28,7	3505	2169	2373	2255			
79,39	53,03	101,04	44,6	27,6	30,2	28,7	3541	2191	2398	2279			
80,20	53,79	102,37	44,6	27,6	30,2	28,7	3577	2214	2422	2302			
81,01	54,55	103,70	44,6	27,6	30,2	28,7	3613	2236	2446	2325			
81,81	55,31	105,03	44,6	27,6	30,2	28,7	3649	2258	2471	2348			
Summa							69585	43062	47118	44778			
Erotus							0	26523	22467	24807			